



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO**

---

**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN EL TRÓPICO**

**EVALUACIÓN DE DOS VAINAS DE  
LEGUMINOSAS ARBÓREAS COMO  
ESTRATEGIA EN LA PRODUCCIÓN  
BOVINA TROPICAL**

**TESINA**

QUE PRESENTA:

**M. V. Z. BRENDA KARINA MORALES CAMPOS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN EL TRÓPICO**

CUAJINICUILAPA, GUERRERO. SEPTIEMBRE DE 2023



LA TESINA TITULADA: **EVALUACIÓN DE DOS VAINAS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS COMO ESTRATEGIA EN LA PRODUCCIÓN BOVINA TROPICAL**, REALIZADA POR LA ALUMNA **M.V.Z. BRENDA KARINA MORALES CAMPOS** BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ TUTORIAL INDICADO Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN EL TRÓPICO**

DIRECTOR



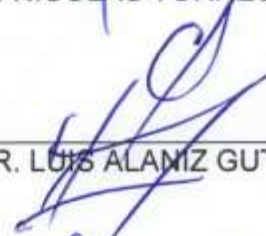
DR. PAULINO SÁNCHEZ SANTILLÁN

CODIRECTOR



DR. NICOLÁS TORRES SALADO

ASESOR



DR. LUIS ALANIZ GUTIÉRREZ

ASESOR



DR. LUIS ANTONIO SAAVEDRA JIMÉNEZ

ASESORA



DRA. LILIANA AGUILAR MARCELINO

CUAJINICUILAPA, GUERRERO. SEPTIEMBRE DE 2023

---

## DEDICATORIAS

Principalmente a **Dios** y a mi **virgencita de Guadalupe**, por guiarme y haber sido mi compañía y esperanza a lo largo de este andar.

A mi mamá **Lirio**, son tantas las cosas que quisiera expresarte, pero empezaré por la más importante; este es tu logro tanto como el mío; porque siempre creíste en mí cuando yo misma dudé, me alentaste a seguir siempre adelante en los momentos más difíciles y celebraste conmigo cada que las cosas salían bien. Siempre serás mi mayor motivación y ejemplo a seguir, tus consejos y sabias palabras las llevo siempre conmigo. Eres el pilar fundamental de mi vida y por ello te dedico este logro, TE AMO MAMI ¡Lo volvimos a lograr mamacita!.

A mi papá **Gregorio**, sin duda alguna eres el pilar fundamental de mi vida, gracias por enseñarme el valor de la perseverancia y la determinación y que si queremos algo tenemos que luchar por ello, todo el esfuerzo logrado dio resultado a un proyecto más culminado y el cual no hubiese sido posible sin tu apoyo y amor incondicional. Te dedico este logro papi, espero poder regresar algún día todo lo que has dado por mí ¡TE AMO PAPI!.

A mis personitas especiales **Monce** y **Zharon** bebé, su existencia me llena la vida de momentos especiales y felices, sus ocurrencias de mi bebé me aligeran los días para seguir adelante, son lo más importante para mí, les dedico este logro con mucho amor.

A mi tía **Blanca**, mis abuelitos **Martha**, **Octavio** y **Zeferina**, por todo su amor, por estar al pendiente siempre de mí y por supuesto darme siempre su apoyo, les dedico este logro con mucho amor.

---

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías** por otorgarme la beca **No. 807280**.

A la **Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2**, mi *Alma Mater* por abrirme las puertas por segunda ocasión y a la **Maestría en Producción de Bovinos en el Trópico** por permitir realizar mis estudios de posgrado.

A mi director de Tesina **Dr. Paulino Sánchez Santillán**, con mucho cariño agradezco su dedicación, paciencia y sobre todo la enseñanza brindada durante este andar. No fue fácil, sin embargo, gracias a usted esto pareció un tanto menos complicado. Mi admiración y respeto por siempre.

A mis asesores: **Dr. Nicolás Torres Salado, Dr. Luis Alaniz Gutiérrez, Dr. Luis Antonio Saavedra Jiménez y Dra. Liliana Aguilar Marcelino**, por su valiosa participación y apoyo para que se concretara este trabajo de investigación.

A todas las personas maravillosas que conocí en el transcurso de este posgrado y de cierta forma colaboraron en esta investigación; las cuales me brindaron su bonita amistad, en especial a: **Susan, Nimci, Carmen, Laura, Omar y Sandra**.

A mi familia universitaria, chicos MR: **Soco, Vianey, Itamar, Susana, Daysi, Mozo y Berra** gracias por su apoyo y valiosa amistad.

A mi compañerito de aventuras **Marce**, te agradezco el apoyo incondicional, cada consejo me sirvió para ser mejor cada día; gracias por estar a mi lado en los momentos de incertidumbre, cansancio y mucho trabajo. Hoy cumpla una de mis mayores metas, y nada más bonito que compartirlo contigo, con esto cerramos un capítulo importante de nuestras vidas, pero abrimos un nuevo camino lleno de posibilidades, fuiste y eres mi mano derecha. TE AMO más allá de las palabras.

---

## CONTENIDO

DEDICATORIAS .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN .....	5
HIPÓTESIS .....	6
OBJETIVOS .....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos .....	7
LITERATURA CITADA .....	8
CAPÍTULO 2 .....	15
CARACTERIZACIÓN <i>in vitro e in situ</i> DE VAINAS MADURAS DE ALGARROBO Y PAROTA .....	15
Resumen .....	15
1. Introducción .....	15
2. Materiales y métodos .....	16
2.1. Lugar de estudio .....	16
2.2. Entrevista a productores .....	16
2.3. Producción de vainas y variables dasométricas .....	16
2.4. Análisis químico .....	17

---

2.5. Ensayo <i>in vitro</i> .....	17
2.6. Ensayo <i>in situ</i> .....	18
2.7. Ensayo <i>in vitro</i> nematicida .....	19
2.8. Análisis estadístico.....	19
3. Resultados.....	19
3.1. Encuestas a productores .....	19
3.2 Producción de vainas y variables dasométricas .....	21
3.3. Análisis químico .....	21
3.4. Ensayo <i>in vitro</i> .....	22
3.5. Ensayo <i>in situ</i> .....	24
3.6. Evaluación <i>in vitro</i> nematicida.....	26
4. Discusión .....	27
4.1. Encuesta a productores .....	27
4.2 Producción de vainas y variables dasométricas .....	27
4.3. Análisis químico .....	28
4.4. Ensayo <i>in vitro</i> .....	28
4.5. Ensayo <i>in situ</i> .....	30
4.6. Ensayo nematicida <i>in vitro</i> .....	30
5. Agradecimientos .....	31
6. Declaración de derechos de los animales.....	31
7. Declaración de conflicto de intereses.....	31
8. Referencias.....	31
CAPÍTULO 3 .....	35
3.1. PRIMER CURSO-TALLER A PRODUCTORES.....	35
3.1.1. Resumen.....	35

---

3.1.2. Introducción .....	35
3.1.3. Objetivos .....	36
3.1.4. Desarrollo de las actividades efectuadas .....	37
3.1.5. Conclusión .....	38
3.1.6. Recomendaciones e implicaciones .....	39
3.1.7. Literatura citada .....	39
3.1.8. Evidencias.....	41
3.2. SEGUNDO CURSO-TALLER A PRODUCTORES.....	42
3.2.1. Resumen.....	42
3.2.2. Introducción .....	42
3.2.3. Objetivos .....	43
3.2.4. Desarrollo de las actividades efectuadas.....	43
3.2.5. Conclusión .....	46
3.2.6. Recomendaciones e implicaciones.....	46
3.2.7. Literatura citada .....	47
3.2.8. Evidencias.....	48
3.3. PRIMER ESTANCIA PROFESIONAL .....	49
3.3.1. Resumen.....	49
3.3.2. Introducción .....	49
3.3.3. Objetivos .....	50
3.3.4. Desarrollo de las actividades efectuadas.....	51
3.3.5. Conclusión .....	52
3.3.6. Recomendaciones e implicaciones.....	52
3.3.7. Literatura citada .....	52
3.3.8. Evidencias.....	54

---

3.4. SEGUNDA ESTANCIA PROFESIONAL.....	55
3.4.1. Resumen.....	55
3.4.2. Introducción .....	55
3.4.3. Objetivos .....	56
3.4.4. Desarrollo de las actividades efectuadas.....	57
3.4.5. Conclusiones .....	59
3.4.6. Recomendaciones e implicaciones.....	59
3.4.7. Literatura citada .....	59
3.4.8. Evidencias.....	61
3.5. TERCERA ESTANCIA PROFESIONAL .....	62
3.5.1. Resumen.....	62
3.5.2. Introducción .....	62
3.5.3. Objetivos .....	63
3.5.4. Desarrollo de las actividades efectuadas.....	63
3.5.5. Conclusión .....	66
3.5.6. Recomendaciones e implicaciones.....	67
3.5.7. Literatura citada .....	67
3.5.8. Evidencias.....	68



---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Geoposición de los árboles de algarrobo y parota en la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero. -----	17
<b>Tabla 2.</b> Condiciones del rumen durante los tiempos evaluados en la prueba de digestibilidad <i>in situ</i> -----	18
<b>Tabla 3.</b> Producción de vainas maduras y variables dasométricas de leguminosas arbóreas -----	21
<b>Tabla 4.</b> Análisis químico de vainas maduras de algarrobo y parota -----	21
<b>Tabla 5.</b> Características fermentativas de la prueba <i>in vitro</i> y cinética de fermentación de vainas maduras de algarrobo y parota -----	24
<b>Tabla 6.</b> Digestibilidad y cinética de digestibilidad <i>in situ</i> de los nutrientes de vainas maduras de algarrobo y parota -----	25
<b>Tabla 7.</b> Contrastes ortogonales de extracto metanólico de vainas maduras de algarrobo y parota contra larvas L3 de <i>H. contortus</i> -----	27
<b>Tabla 8.</b> Mortalidad de larvas L3 de <i>H. contortus</i> a las 72 h post confrontación con extractos metanólicos de vainas maduras de algarrobo y parota -----	26
<b>Tabla 9.</b> Lista de asistencia de personas al curso-taller -----	44

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Árboles usados como cerca viva en potreros -----	20
<b>Figura 2.</b> Árboles que los productores prefieren en su potrero-----	20
<b>Figura 3.</b> Producción acumulada de biogás <i>in vitro</i> hasta las 72 h de vainas maduras de algarrobo y parota -----	22
<b>Figura 4.</b> Producción acumulada de metano <i>in vitro</i> hasta las 72 h de vainas maduras de algarrobo y parota -----	23
<b>Figura 5.</b> Elaboración de BN.-----	41
<b>Figura 6.</b> Entrega de trípticos.-----	41
<b>Figura 7.</b> Explicación de la importancia de usar recursos regionales.-----	41
<b>Figura 8.</b> Insumos solidos revolviéndose.-----	41
<b>Figura 9.</b> Urea y melaza incorporándose a los insumos sólidos.-----	41
<b>Figura 10.</b> Incorporación de cal a los insumos sólidos.-----	41
<b>Figura 11.</b> Aclaración de dudas.-----	41
<b>Figura 12.</b> Entrega de BN a productores como parte del curso-taller.-----	41
<b>Figura 13.</b> Entrevista sobre los beneficios que tienen los BN.-----	41
<b>Figura 14.</b> Registro de asistentes.-----	48
<b>Figura 15.</b> Plática de evaluación de sementales.-----	48
<b>Figura 16.</b> Plática elaboración de bloques nutricionales.-----	48
<b>Figura 17.</b> Plática elaboración de suplementos granulados.-----	48
<b>Figura 18.</b> Insumos para suplemento granulado.-----	48
<b>Figura 19.</b> Aplicación de melaza a suplemento granulado.-----	48
<b>Figura 20.</b> Pesaje de insumos para bloques nutricionales.-----	48
<b>Figura 21.</b> Revoltura de insumos solidos con melaza y cal.-----	48
<b>Figura 22.</b> Entrega de bloques nutricionales a productores.-----	48
<b>Figura 23.</b> Maceración de las vainas con metanol puro.-----	54
<b>Figura 24.</b> Extracto en rotavapor.-----	54
<b>Figura 25.</b> Liofilización de extractos orgánicos de algarrobo y parota.-----	54
<b>Figura 26.</b> Pruebas <i>in vitro</i> con extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota.-----	54

---

<b>Figura 27.</b> Prueba <i>in vitro</i> con extractos orgánicos de vainas contra <i>H. contortus</i> .-----	54
<b>Figura 28.</b> Pruebas <i>in vitro</i> con extractos orgánicos de vainas contra <i>P. redivivus</i> .-----	54
<b>Figura 29.</b> Bioensayo con extracto de vainas contra larvas de <i>R. microplus</i> .-----	54
<b>Figura 30.</b> Pruebas colorimétricas a extractos orgánicos de vainas. -----	54
<b>Figura 31.</b> Extracto de vaina de algarrobo con presencia de flavonoides y alcaloides. -----	54
<b>Figura 32.</b> Teoría a estudiantes sobre análisis bromatológicos. -----	61
<b>Figura 33.</b> Pesaje de muestra para realizar la técnica de PC.-----	61
<b>Figura 34.</b> Teoría y práctica sobre la digestión de la muestra para PC. -----	61
<b>Figura 35.</b> Práctica sobre la titulación de la muestra de PC.-----	61
<b>Figura 36.</b> Realización FDN y FDA a muestras de pastos.-----	61
<b>Figura 37.</b> Preparación de soluciones la técnica <i>in vitro</i> . -----	61
<b>Figura 38.</b> Técnica de degradación <i>in vitro</i> . -----	61
<b>Figura 39.</b> Colocación de bolsas en cadena.-----	61
<b>Figura 40.</b> Introducción de bolsas en rumen. -----	61
<b>Figura 41.</b> Obtención de líquido ruminal. -----	68
<b>Figura 42.</b> Medición de la presión de los viales.-----	68
<b>Figura 43.</b> Prueba de fermentación <i>in vitro</i> viales 120, 60 y 30 mL. -----	68
<b>Figura 44.</b> Medio de cultivo en ácido metafosfórico. -----	68
<b>Figura 45.</b> Filtrado de la muestra. -----	68
<b>Figura 46.</b> Material para prueba <i>in vitro</i> en campo.-----	68
<b>Figura 47.</b> Obtención de muestras de heces de ovinos. -----	68
<b>Figura 48.</b> Montaje de la prueba de fermentación <i>in vitro</i> para campo. -----	68
<b>Figura 49.</b> Determinación de carbohidratos solubles.-----	68

---

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

En México, existe gran variedad de especies de leguminosas arbóreas con potencial para incorporarlas en los sistemas de producción (De Luna-Vega *et al.*, 2017) durante la época de estiaje en las regiones tropicales (Gómez *et al.*, 2014). Una opción es el uso de vainas maduras, que se producen regularmente entre febrero y mayo (Hernández-Morales *et al.*, 2018). Las vainas de leguminosas son fuente de nutrientes que se pueden utilizar en la alimentación de rumiantes para reducir el uso de concentrados en las explotaciones pecuarias (Delgado *et al.*, 2014). En general, las vainas llegan a contener hasta 30% de proteína cruda (PC), de 18 a 62% de fibra detergente neutro (FDN), y minerales como Ca, P, Mg y Cu (Hernández-Morales *et al.*, 2018). Una característica esencial de las vainas es su contenido de metabolitos secundarios como: taninos condensados e hidrolizables, saponinas, alcaloides, terpenos, fitatos, hemoglutininas, aminoácidos tóxicos como: canavanina y mimosina, glucósidos cianogénicos, cumarina y flavonol (Sepúlveda-Vázquez *et al.*, 2018).

Los metabolitos secundarios tienen efecto contra larvas y garrapatas adultas (Rosado-Aguilar *et al.*, 2010) y propiedades anti-metanogénicas. Esta propiedad es por las saponinas, taninos, aceites esenciales, compuestos órganosulfurados y flavonoides (Patra y Saxena, 2010), pues reducen las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) en rumen (Cardona-Iglesias *et al.*, 2016). Además, cantidades moderadas de taninos condensados producen efectos benéficos sobre el metabolismo de las proteínas en rumiantes, ya que reducen su digestión en rumen e incrementan la absorción de aminoácidos en el intestino delgado reduciendo a su vez la presentación del timpanismo (Márquez y Suárez, 2008). Así mismo, los taninos condensados, saponinas, glucósidos y lectinas presentan actividad nematocida reduciendo el impacto del parasitismo gastrointestinal (Sepúlveda-Vázquez *et al.*, 2018).

---

El algarrobo (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.) se extiende desde México hasta América del Sur (Ojeda *et al.*, 2012). Este árbol pertenece a la familia *Fabaceae*. Es un árbol de gran tamaño (25 a 30 m), de copa amplia y dispersa en forma de sombrilla con follaje plumoso, el troco es irregular y retorcido con un diámetro de 55 cm, su corteza es rugosa, pardo grisácea oscura y arrugada, con líneas verticales. Las hojas son compuestas, bipinnadas de 3-9 pares de hasta 1 cm de largo, raquis piloso. Este florece entre enero y mayo dependiendo la zona geográfica donde se ubica; sus flores son pequeñas, color rosa claro, hermafroditas, agrupadas en umbelas, situadas al final de las ramas (Milián-Domínguez *et al.*, 2017a). Los frutos son vainas alargadas de 10-22 cm de largo y 15-19 mm de ancho; al madurar se vuelven cafés, contienen una pulpa seca, oscura, dulce y nutritiva rodeando de 5 a 10 semillas. La maduración de estas vainas se produce entre febrero y mayo (Cisneros, 2018; Milián-Domínguez *et al.*, 2017a).

El rendimiento por árbol maduro en una temporada es de 200 a 250 kg de vainas (Cisneros, 2018). Las vainas son palatables y con alto valor proteico para su uso como suplemento alimenticio de rumiantes. Las semillas contienen *piticolobina*; un alcaloide tóxico con propiedades abortivas. El contenido de PC de la vaina madura oscila entre 14 y 18%, materia seca (MS) de 89.4% y 29.1% de FDN; el mesocarpio carnoso contiene 32.6% de los azúcares totales (Delgado *et al.*, 2014). Cabe destacar, el fruto contiene metabolitos secundarios como: taninos condensados, saponinas, alcaloides, compuestos nitrogenados, entre otros, mismos que modifican el ecosistema del rumen (Anantasook *et al.*, 2015) y que disminuyen la cantidad de protozoarios (Delgado *et al.*, 2014). Los frutos molidos, por la presencia de taninos condensados, se pueden utilizar como fuente natural de antimicrobianos y antifúngicos (Kumar *et al.*, 2013). Las vainas se usan como suplemento proteico para rumiantes en la región del trópico seco (Delgado *et al.*, 2014).

La parota (*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq) Griseb.) se encuentra desde el oeste y sur de México a través de Centroamérica hasta el norte de Sudamérica (Venezuela y Brasil). En México, se ubica en los estados de Guerrero, Jalisco, Michoacán y otros (Rosales, 2018). Este árbol pertenece a la familia *Fabaceae*. La

---

parota es un árbol que mide hasta 30 m, su tronco es derecho a veces con pequeños contrafuertes en la base, su corteza es de lisa a granulosa, de gris claro a gris pardusco, su copa es hemisférica y de follaje abundante (Delgado *et al.*, 2014). Las hojas son bipinnadas, con 4 a 15 pares de pinnas opuestas, y miden desde 15 hasta 40 cm de largo. Las flores son pequeñas cabezuelas pedunculadas axilares hermafroditas. El fruto es una vaina circular indehiscente café de 7 a 15 cm de diámetro aplanada y enroscada, contiene de 10 a 15 semillas (Rosales, 2018).

La producción de vaina por árbol al año oscila entre 250 y 750 kg de vaina. Las vainas maduras caen a la superficie del suelo entre los meses de marzo a junio (De Luna-Vega *et al.*, 2017; Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2013). La vaina es un alimento palatable para los rumiantes y con alto valor nutricional, ya que, contiene carbohidratos estructurales poco lignificados y altamente digeribles. La semilla posee alto contenido de aminoácidos, las vainas contienen de 14 a 41% de PC, 60.5% de extractos libres de nitrógeno (Orocio *et al.*, 2017), 28.3% de FDN y 20.4% de fibra detergente ácido (FDA) y 2.8 Mcal kg<sup>-1</sup> de energía metabolizable (Carbajal-Márquez *et al.*, 2019).

La vaina de parota es una alternativa que se utiliza como suplemento en la alimentación del ganado (Carbajal-Márquez *et al.*, 2021), permite sustituir granos de cereal y pastas de oleaginosas (Peralta *et al.*, 2004). Además, por su riqueza en taninos condensados (Molina-Botero *et al.*, 2019) y saponinas disminuye la pérdida de energía por CH<sub>4</sub> y disminuye la población de protozoarios (Albores-Moreno *et al.*, 2017). Así mismo, es una alternativa para el control de nematodos parásitos, ya que los taninos intervienen en funciones vitales de los nematodos afectando la motilidad, la nutrición y posiblemente su reproducción (Medina *et al.*, 2014). La inclusión de hasta 25% de vaina de parota como suplemento proteico para terneros alimentados con forraje es una alternativa de alimentación; sin embargo, su inclusión de hasta 75% en un suplemento disminuye el consumo de MS por efecto de los metabolitos que contiene (Carbajal-Márquez *et al.*, 2021).

Estas especies de árboles se pueden catalogar como nutraceuticos debido a la presencia de metabolitos secundarios tales como: taninos, flavonoides, etc.; los

---

cuales representan una alternativa para disminuir la incidencia de enfermedades causadas por nematodos gastrointestinales (López-Vigoa *et al.*, 2017). Las vías a través de las cuales los metabolitos secundarios contribuyen al control de los nematodos gastrointestinales son: la disminución en el nivel de ovoposición del parásito adulto, la afectación en la eclosión de los huevos, alteración en el desarrollo, la motilidad y la muda en las larvas, y la disminución en la viabilidad de los parásitos adultos (Molan y Faraj, 2010; Olmedo-Juárez *et al.*, 2016; Puerto *et al.*, 2014; Vargas-Magaña *et al.*, 2014).

Según el estado larvario de los nematodos los metabolitos secundarios también pueden afectar células intestinales en larvas desenvainadas o por el contrario la cutícula y la hipodermis en larvas con vaina. Se sabe que la vaina y la cutícula de larvas de nematodos se componen de proteínas ricas en prolina e hidroxiprolina, aminoácidos por los cuales los taninos condensados muestran afinidad (Hoste *et al.*, 2012).

---

## JUSTIFICACIÓN

Un problema en el trópico es la producción irregular de forraje debido a la estacionalidad de la precipitación, esto aunado a la baja calidad que presentan los pastos (menos de 7% de PC; Ávila-Serrano *et al.*, 2020). Esto provoca bajos índices productivos y reproductivos de los bovinos en este periodo (Villa-Herrera *et al.*, 2009). La producción de bovinos en el trópico es principalmente en pastoreo, por lo que, es necesario una suplementación alimenticia (Rojas-García *et al.*, 2020). El uso de recursos forrajeros como vainas de leguminosas arbóreas algarrobo y parota son una opción para la elaboración de suplementos por su contenido de nutrientes y su disponibilidad durante la época de estiaje, ya que pueden mejorar el aporte de energía y proteína que recibe el ganado bovino (Carbajal-Márquez *et al.*, 2019).

Las vainas de algarrobo contienen en promedio: FDN 34.37%, FDA 25.6%, Ce 4.29% y PC 14.24% y las de parota FDN 27.29%, FDA 20.40%, Ce 4.13% y PC 19.50% (Hernández-Morales *et al.*, 2018; Herrera-Pérez *et al.*, 2021). Estudios fitoquímicos indican que la vaina de algarrobo contiene metabolitos secundarios: taninos condensados, saponinas, fenoles, alcaloides, carbohidratos y aminoácidos libres (Milián *et al.*, 2017b; Milián-Domínguez *et al.*, 2017a); en cambio, la vaina de parota contiene: esteroides, cumarinas, saponinas, taninos condensados, alcaloides, fenoles y aminoácidos libres (Pizzani *et al.*, 2006). Sin embargo, hay poca información sobre el uso que le dan los productores de la región Costa Chica, la producción de vainas por árbol en la temporada, pocos resultados sobre su calidad nutritiva, y escasa información sobre su potencial uso como desparasitante. Por tanto, la identificación y evaluación de los recursos leguminosos arbóreos de algarrobo y parota es importante, considerando que contienen metabolitos secundarios y se requiere generar información para formular estrategias en la producción bovina tropical, que iría desde la elaboración de suplementos hasta su uso como antihelmíntico, pasando por la estimación de la producción de vainas maduras por temporada.



---

## **HIPÓTESIS**

La generación de información sobre la producción de vainas maduras por árbol, identificación del uso de estas por parte de productores, características nutricionales *in vitro* e *in situ* y su evaluación nematocida permitirán generar estrategias que permitan su uso en la producción bovina en el trópico seco.

---

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Caracterizar las vainas maduras de algarrobo y parota mediante la determinación de su producción por árbol en la temporada, características nutricionales *in vitro* e *in situ* y la obtención de extractos orgánicos y su capacidad nematocida, para generar información que permita a los productores e investigadores tomar decisiones sobre su uso en la producción bovina tropical.

### Objetivos específicos

- 🌐 Identificar el uso de los árboles de algarrobo y parota mediante la aplicación de encuestas a productores de la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero.
- 🌐 Estimar la producción de vainas maduras por árbol mediante la recolección completa de estas y variables dasométricas de árboles de algarrobo y parota.
- 🌐 Determinar el análisis bromatológico de las vainas maduras de algarrobo y parota.
- 🌐 Estimar la producción de gases de efecto invernadero, la cinética de fermentación y las características fermentativas *in vitro* de las vainas maduras de algarrobo y parota.
- 🌐 Evaluar la digestibilidad y calcular los estimadores de la cinética de digestibilidad *in situ* de los nutrientes de las vainas maduras de algarrobo y parota.
- 🌐 Obtener extractos orgánicos de las vainas maduras de algarrobo y parota para evaluar *in vitro* su capacidad nematocida.

---

## LITERATURA CITADA

- Albores-Moreno, S., Alayón-Gamboa, J. A., Ayala-Burgos, A. J., Solorio-Sánchez, F. J., Aguilar-Pérez, C. F., Olivera-Castillo, L., & Ku-Vera, J. C. (2017). Effects of feeding ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb on dry matter intake, rumen fermentation, and enteric methane production by Pelibuey sheep fed tropical grass. *Tropical Animal Health and Production*, 49(4), 857–866. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1275-y>
- Anantasook, N., Wanapat, M., Cherdthong, A., & Gunun, P. (2015). Effect of tannins and saponins in *Samanea saman* on rumen environment, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(2), 335–344. <https://doi.org/10.1111/jpn.12198>
- Ávila-Serrano, N. Y., López-Garrido, S. J., Galicia-Jiménez, M. M., González-Crespo, G. de J., y Camacho-Escobar, M. A. (2020). Efecto de la incorporación de arbóreas a dietas de *Cynodon nlemfuensis* durante la fermentación ruminal *in vitro*. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(2), 403–412. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.618>
- Carbajal-Márquez, U., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A. R., Mendoza-Núñez, M. A., Ayala-Monter, M., y Hernández-Valenzuela, D. (2019). Fermentación *in vitro* de complementos para becerros con niveles crecientes de vaina de parota (*Enterolobium cyclocarpum*). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(2), 213–220.
- Carbajal-Márquez, U., Sánchez-Santillán, P., Rojas-García, A. R., Ayala-Monter, M. A., Mendoza-Núñez, M. A., & Hernández-Valenzuela, D. (2021). Effect of parota (*Enterolobium cyclocarpum*) pod protein supplement on feed intake and digestibility and calf ruminal characteristics. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 323. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02772-6>

- 
- Cardona-Iglesias, J. L., Mahecha-Ledesma, L., y Angulo-Arizala, J. (2016). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: Estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 273–288. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21466>
- Cisneros, S. P. (2018). *Samanea saman* (Jacq.) Merr. En G. J. M. Palma y I. C. González-Rebeles (Eds.), Recursos arbóreos y arbustivo tropicales para una ganadería bovina sustentable (pp. 106–111). En buen plan.
- De Luna-Vega, A., García-Sahagún, M. L., Rodríguez-Guzmán, E., Pimienta-Barrios, E., y Escalante-Martínez, R. (2017). Potencial alimenticio animal con harina frutos de parota (*Enterolobium cyclocarpum*, Jacq.) y capomo (*Brosimum alicastrum*, Sw). *Revista de Simulación y Laboratorio*, 4(10), 13–21.
- Delgado, D. C., Hera, R., Cairo, J., y Orta, Y. (2014). *Samanea saman*, árbol multipropósito con potencialidades como alimento alternativo para animales de interés productivo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(3), 9.
- Gómez, G. A., Partida, H. M., Ramírez, D. R., Ramírez, R. J. C., Gómez, G. J. A., González, M. M., y Sanginés, G. L. (2014). Efecto de la inclusión del fruto de *Guazuma ulmifolia* como sustituto de maíz en la dieta sobre el comportamiento productivo y rendimiento en canal de ovinos pelibuey. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(2), 215–222.
- Hernández-Morales, J., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Rojas-García, A. R., Reyes-Vázquez, I., y Mendoza-Núñez, M. A. (2018). Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 105-120. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>

- 
- Herrera-Pérez, J., Carbajal-Márquez, U., Torres-Salado, N., Sánchez-Santillán, P., Ramírez-Reynoso, O., Rojas-García, A. R., & Ayala-Monter, M. A. (2021). Productive response of creole lambs fed integral diets with *Samanea saman* (Jacq.) Merr. Pods. *Agro Productividad*, 14(2), 29–34. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i2.1976>
- Hoste, H., Martínez-Ortiz-De-Montellano, C., Manolaraki, F., Brunet, S., Ojeda-Robertos, N., Fourquaux, I., Torres-Acosta, J. F. J., & Sandoval-Castro, C. A. (2012). Direct and indirect effects of bioactive tannin-rich tropical and temperate legumes against nematode infections. *Veterinary Parasitology*, 186(1), 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.11.042>
- Kumar, R. A., Shaik, R., & Yeshwanth, D. (2013). Phytochemical evaluation of *Delonix regia*, *Samanea saman* and *Bauhinia variegata*. *International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry*, 3(4), 768–772.
- López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J. M., Lamela-López, L., y Soca-Pérez, M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 83-95.
- Márquez, L. D., y Suárez, L. Á. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(16), 87–109.
- Medina, P., Guevara, F., La O, M., Ojeda, N., y Reyes, E. (2014). Resistencia antihelmíntica en ovinos: Una revisión de informes del sureste de México y alternativas disponibles para el control de nemátodos gastrointestinales. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 257–263.

- 
- Milián, D. J. C., Iglesias, M. O., & Valdés, H. H. (2017b). Caracterización fitoquímica de *Samanea saman* (Jacq.) Merr. (Algarrobo). *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 5(1), 49–61.
- Milián-Domínguez, J. C., Iglesias-Monroy, O., Valdés-Márquez, H., & Sanjudo-Ramos, Y. (2017a). Estudio fitoquímico integral del *Samanea saman* de la región occidental de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 29(3), 480–491.
- Molan, A. L., & Faraj, A. M. (2010). The effects of condensed tannins extracted from different plant species on egg hatching and larval development of *Teladorsagia circumcincta* (Nematoda: *Trichostrongylidae*). *Folia Parasitologica*, 57(1), 62–68. <https://doi.org/10.14411/fp.2010.008>
- Molina-Botero, I. C., Arroyave-Jaramillo, J., Valencia-Salazar, S., Barahona-Rosales, R., Aguilar-Pérez, C. F., Ayala, B. A., Arango, J., & Ku-Vera, J. C. (2019). Effects of tannins and saponins contained in foliage of *Gliricidia sepium* and pods of *Enterolobium cyclocarpum* on fermentation, methane emissions and rumen microbial population in crossbred heifers. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.011>
- Ojeda, A., Barroso, J. A., Obispo, N., Gil, J. L., & Cegarra, R. (2012). Composición química, producción de gas *in vitro* y astringencia en el follaje de *Samanea saman* (Jacq.) Merrill. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 205–218.
- Olmedo-Juárez, A., Rojo-Rubio, R., Arece-García, J., Salem, Z. M. A., Kholif, E. A., & Morales-Almaraz, E. (2016). *In vitro* activity of *Pithecellobium dulce* and *Lysiloma acapulcensis* on exogenous development stages of sheep gastrointestinal *Strongyles*. *Italian Journal of Animal Science*, 13(4), 303–307. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3104>

- 
- Orocio, M. R. K., Torres, S. N., Herrera, P. J., Rojas, G. A. R., Bottini, L. M. B., y Mendoza, N. M. A. (2017). Gas acumulado y degradaciones *in vitro* de un suplemento con base en harina de *Cucurbita argyrosperma* y vaina de *Enterolobium cyclocarpum*. *Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Memoria*, 1(1), 311–313.
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2010). A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71(11–12), 1198–1222. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.010>
- Peralta, N., Palma, J. M., & Macedo, R. (2004). Efecto de diferentes niveles de inclusión de parota (*Enterolobium cyclocarpum*) en el desarrollo de ovinos en estabulación. *Livestock Research for Rural Development*, 16(1), 38–45.
- Piñeiro-Vázquez, A. T., Ayala-Burgos, A. J., Chay-Canul, A. J., & Ku-Vera, J. C. (2013). Dry matter intake and digestibility of rations replacing concentrates with graded levels of *Enterolobium cyclocarpum* in Pelibuey lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 45(2), 577–583. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0262-6>
- Pizzani, P., Matute, I., De Martino, G., Arias, A., Godoy, S., Pereira, L., Palma, J., y Rengifo, M. (2006). Composición fitoquímica y nutricional de algunos frutos de árboles de interés forrajero de los Llanos Centrales de Venezuela. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias, UCV*, 47(2), 105–111.
- Puerto, A. M., Arece, G. J., López, L. Y., Roche, Y., Molina, M., Sanavria, A., y Da Fonseca, H. A. (2014). Efecto *in vitro* de extractos acuosos de *Moringa oleifera* y *Gliricida sepium* en el desarrollo de las fases exógenas de estrongílicos gastrointestinales de ovinos. *Revista de Salud Animal*, 36(1), 28–34.

- 
- Rojas-García, A. R., Orocio-Martínez, R. K., Sanchez Santillan, P., Ayala-Monter, M. A., Maldonado-Peralta, M. A., y Valenzuela-Lagarda, J. L. (2020). Características bromatológicas y fermentativas *in vitro* de complementos con *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb y cáscara de *Cucurbita argyrosperma* Huber. *Agro Productividad*, 13(7), 67–74. <https://doi.org/10.32854/agro.vi.1677>
- Rojo, R. R., Mendoza, D. G., García, B. C. M., Bárcena, G. J. R., y Aranda, I. E. M. (2000). Consumo y digestibilidad de pastos tropicales en toretes con suplementación nitrogenada y *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 17, 358–370.
- Rosado-Aguilar, J. A., Aguilar-Caballero, A. J., Rodríguez-Vivas, R. I., Borges-Argaez, R., García-Vázquez, Z., & Méndez-González, M. (2010). Screening of the acaricidal efficacy of phytochemical extracts on the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) by larval immersion test. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12, 417–422.
- Rosales, A. J. J. (2018). *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (1860). En G. J. M. Palma & I. C. González-Rebeles (Eds.), *Recursos arbóreos y arbustivo tropicales para una ganadería bovina sustentable* (pp. 51–56). En buen plan.
- Sepúlveda-Vázquez, J., Torres-Acosta, J. F., Sandoval-Castro, C. A., Martínez-Puc, J. F., y Chan-Pérez, J. I. (2018). La importancia de los metabolitos secundarios en el control de nematodos gastrointestinales en ovinos con énfasis en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 5(2), 79–95.
- Tobía, C., Bustillos, A., Bravo, H., & Urdaneta, D. (2003). Evaluación de la dureza y el consumo de bloques nutricionales en ovinos. *Gaceta de Ciencias Veterinarias*, 9(1), 26–31.



- 
- Vargas-Magaña, J. J., Torres-Acosta, J. F. J., Aguilar-Caballero, A. J., Sandoval-Castro, C. A., Hoste, H., & Chan-Pérez, J. I. (2014). Anthelmintic activity of acetone-water extracts against *Haemonchus contortus* eggs: Interactions between tannins and other plant secondary compounds. *Veterinary Parasitology*, *206*(3–4), 322–327. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.10.008>
- Vázquez-Mendoza, P., Castelán-Ortega, O. A., García-Martínez, A., y Avilés-Nova, F. (2012). Uso de bloques nutricionales como complemento para ovinos en el trópico seco del altiplano central de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *15*(1), 87–96.
- Villa-Herrera, A., Nava-Tablada, M. E., López-Ortiz, S., Vargas-López, S., Ortega-Jiménez, E., y López, Felipe, G. (2009). Utilización del guácimo (*Guazuma ulmifolia* lam.) como fuente de forraje en la ganadería bovina extensiva del trópico mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *10*(2), 253–261.

---

## CAPÍTULO 2

### CARACTERIZACIÓN *in vitro* e *in situ* DE VAINAS MADURAS DE ALGARROBO Y PAROTA

Brenda Karina Morales-Campos<sup>1</sup>; Paulino Sánchez-Santillán<sup>2\*</sup>; Nicolas Torres-Salado<sup>2</sup>; Luis Alaniz-Gutiérrez<sup>2</sup>; Luis Antonio Saavedra-Jiménez<sup>2</sup>; Liliana Aguilar-Marcelino<sup>3</sup>

15379627@uagro.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8329-8839>  
sanchezsantillanp@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8639-1476>  
navigas@yahoo.com.mx, <https://orcid.org/0000-0002-3439-1228>  
alanizl@uagro.mx, <https://orcid.org/0000-0001-7840-7634>  
19188@uagro.mx, <https://orcid.org/0000-0001-6124-7240>  
aguilar.liliana@inifap.gob.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8944-5430>

<sup>1</sup>Programa de Maestría en Producción de Bovinos en el Trópico-UAGro, 41940, Cuajinicuilapa, Guerrero, México. <sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2-UAGro, 41940, Cuajinicuilapa, Guerrero, México. <sup>3</sup>INIFAP-CENID-SAI, 62574, Jiutepec, Morelos, México.

\*Autor responsable: [sanchezsantillanp@gmail.com](mailto:sanchezsantillanp@gmail.com)

#### Resumen

Las muestras fueron vainas de algarrobo y parota. El objetivo fue recabar información de productores mediante encuestas, estimar la producción de vainas y variables dasométricas de los árboles, hacer análisis químico (materia seca, MS; proteína cruda, PC y fibra detergente neutro, FDN), evaluar *in vitro* (producción de biogás y metano; degradación de MS, DMSiv; PC, DPCiv; y FDN, DFDNiv a 72 h), determinar digestibilidad *in situ* de MS (DMSis), PC (DPCis) y FDN (DFDNis) a 72 h y probar actividad nematocida de extractos orgánicos a diferentes niveles de concentración (2.5, 5, 10, 20 y 40 mg mL<sup>-1</sup>). El 95% de 42 encuestados, mencionó los árboles de algarrobo, parota y campeche como árboles de cerca viva, sombra y alimento; 86% permiten que su ganado consuma las vainas por sí mismo. El árbol de algarrobo produjo 1.28 veces más vaina que el árbol de parota. El contenido de MS, FDN, DFDNiv, DMSis, DPCis, DFDNis fue mayor en la vaina de parota; mientras, la producción de biogás fue mayor para la vaina de algarrobo ( $p < 0.05$ ). El contenido de PC, producción de metano, DMSiv, DPCiv no presentaron diferencias entre vainas ( $p > 0.05$ ). El extracto orgánico de la vaina de parota no presentó diferencias en la mortalidad a diferentes concentraciones; en contraste, el extracto orgánico de algarrobo mostró la mayor mortalidad a una concentración de 10 y 20 mg mL<sup>-1</sup>. El presente estudio permitirá complementar la información empírica de los productores, dados los resultados obtenidos en el análisis químico, ensayos *in vitro* e *in situ* como una alternativa para su inclusión en la planeación estratégica de producción de rumiantes.

**Palabras clave:** alternativas nutricionales, antihelmíntico, *Enterolobium cyclocarpum*, extractos metanolicos, *Samanea saman*, usos y costumbres.

#### 1. Introducción

En la época de baja precipitación en el trópico seco, la producción de forrajes se limita y contiene alrededor de 70% de pared celular y 7% de proteína cruda (PC; Hernández-Morales et al., 2018; Rojas et al., 2018). Esto conlleva a la búsqueda de alternativas de suplementación para cubrir los requerimientos nutricionales de rumiantes. Por lo que, el uso de recursos forrajeros regionales como las vainas de leguminosas arbóreas, representan una opción, dado su contenido de nutrientes y disponibilidad en la época de estiaje; aunado a la reducción del uso de cereales y fuentes proteicas convencionales (Hernández-Morales et al., 2018).

El árbol de algarrobo (*Samanea saman* Jacq. Merr) es nativo del trópico seco americano, se extiende desde México y Centroamérica, hasta Venezuela y Colombia en América del Sur. El fruto de algarrobo es una vaina alargada de 10 a 22 cm de largo y de 15 a 19 mm de ancho; al madurar fisiológicamente se torna color café. En su interior hay una pulpa seca y oscura que rodea de 5 a 10 semillas. La producción de vainas fisiológicamente maduras se presenta de febrero a mayo, pero su máxima producción es en los meses de abril y mayo (Milián-Domínguez et al., 2017). A nivel nutricional contienen hasta 16.08% de PC y 34.37% de fibra detergente neutro

---

(FDN; Hernández-Morales et al., 2018). Estudios previos *in vivo*, demostraron que la inclusión de 25% de vaina madura de algarrobo en una dieta integral para corderos propicia una ganancia diaria de peso de 189 g d<sup>-1</sup> (Herrera-Pérez et al., 2021). Las vainas maduras de algarrobo contienen taninos, flavonoides, aminoácidos libres de fenoles, alcaloides (Milián-Domínguez et al., 2017) glucósidos, esteroides, terpenoides, saponinas (Moreno et al., 2021). El extracto metanólico de vaina de algarrobo presenta efecto antimicótico contra *Colletotichum gloeosporioides* (Moreno et al., 2021) y efecto antibacteriano y antimicótico contra *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* y *Candida albicans* (Ukoha et al., 2011).

El árbol de parota (*Enterolobium cyclocarpum* Jacq Griseb) se distribuye desde México hasta el norte de Sudamérica. El fruto de parota es una vaina en forma de oreja de 7 a 15 cm de diámetro, es aplanada y enroscada y contiene de 10 a 15 semillas. Las semillas que están envueltas en una capa semifibrosa (Carbajal-Márquez et al., 2019; Rosales, 2018). La producción de vainas fisiológicamente maduras es entre los meses de abril a junio (Piñeiro-Vázquez et al., 2013). Estas vainas contienen alrededor de 19.5% de PC y 28.38% FDN (Hernández-Morales et al., 2018). El uso de 25% vaina madura de parota en la elaboración de suplementos para bovinos aumenta la digestibilidad de los nutrientes; sin embargo, cuando se agrega 75% de esta vaina se reduce el consumo de materia seca (Carbajal-Márquez et al., 2021). La obtención de extracto hidroalcohólico de vainas de parota en ensayos *in vitro* mostró un efecto nematocida contra larvas L3 de *Haemonchus contortus* (López et al., 2015).

La hipótesis es que la estimación de la percepción de los productores, la producción de vaina, caracterización nutricional *in vitro* e *in situ*, así como la obtención de un extracto orgánico para una prueba piloto *in vitro* vs nematodos permitirá una caracterización de vainas fisiológicamente maduras de algarrobo y parota para su uso en la alimentación de rumiantes en el trópico. Por tanto, los objetivos fueron recabar información desde el punto de vista de productores mediante encuestas, estimar la producción de vainas y variables dasométricas (árboles), evaluar la producción de gas *in vitro*, digestibilidad *in situ*, análisis químico, actividad nematocida de extractos orgánicos de vainas maduras de algarrobo y parota para su caracterización.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Lugar de estudio**

El presente estudio se realizó en tres lugares: *a*) las encuestas sobre el uso de las vainas maduras y su recolección se realizó en la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero, México; *b*) el estudio nutricional se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero, ubicado en Cuajinicuilapa, Guerrero, México (16°08' N y 98°23' O) a 46 msnm; y *c*) obtención de extractos y prueba *in vitro* sobre evaluación nematocida se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI) del INIFAP, ubicado en Jiutepec, Morelos, México (18°04' N y 99°28' O) a 1350 msnm.

### **2.2. Entrevista a productores**

La aplicación de encuestas fue para identificar el uso de los árboles y vainas de algarrobo y parota en las unidades de producción. El diseño de la encuesta fue *a*) identificación y uso de árboles en su unidad de producción; y *b*) uso de las vainas. Se realizó un muestreo no probabilístico denominado bola de nieve, es decir, el primer encuestado fue el productor que tuviera en su unidad de producción al menos árboles de algarrobo o parota, o bien que indicara que ofrecía cualquiera de las vainas evaluadas en el presente estudio a sus animales. Este productor, realizó el contacto con otro productor que presentara las mismas condiciones (González et al., 2018). En total se entrevistaron 42 productores de la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero, México. Esta fase se realizó en los meses de noviembre y diciembre del 2022.

### **2.3. Producción de vainas y variables dasométricas**

Las vainas fisiológicamente maduras de algarrobo y parota se recolectaron en la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero. Esto se realizó entre los meses de marzo y junio de 2022. En una prueba piloto se seleccionaron al azar ocho árboles de algarrobo y ocho de parota que estuvieran produciendo vainas (Tabla 1). La producción de vainas por árbol se determinó según Andrade et al. (2008); donde los árboles fueron cercados 3 m fuera del perímetro de la copa y las vainas se recogieron manualmente cada tercer día. Así mismo, a los árboles se estimaron las variables dasométricas: *a*) edad según el propietario del árbol; *b*) altura según Velasco et al. (2010), donde se utilizó la aplicación de clinómetro forestal (versión 1.6; iTech Desenvolvimentos) tomando la altura a una distancia de 15 metros de la base del árbol; *c*) diámetro según Olivares-Pérez et al. (2011) y Velasco

et al. (2010), donde se tomó la medición a la altura del pecho (1.30 m sobre el suelo); *d*) área de proyección de la copa según Réves-Leonard et al. (2011), donde se tomó la medición del radio del círculo proyectado por la sombra de la copa del árbol (4 direcciones) a medio día.

**Tabla 1.** Geoposición de los árboles de algarrobo y parota en la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero.

Leguminosa arbórea	Identificación del árbol	Coordenadas
Algarrobo	1	16°28'34'' N 98°25'44'' W
Parota	2	16°28'34'' N 98°25'42'' W
Parota	3	16°28'38'' N 98°25'45'' W
Algarrobo	4	16°28'35'' N 98°25'51'' W
Algarrobo	5	16°28'24'' N 98°25'32'' W
Algarrobo	6	16°28'25'' N 98°25'34'' W
Parota	7	16°28'25'' N 98°25'32'' W
Parota	8	16°28'26'' N 98°25'37'' W
Algarrobo	9	16°27'58'' N 98°25'01'' W
Algarrobo	10	16°27'57'' N 98°24'59'' W
Parota	11	16°27'57'' N 98°24'56'' W
Parota	12	16°27'56'' N 98°24'56'' W
Algarrobo	13	16°28'28'' N 98°24'39'' W
Algarrobo	14	16°28'27'' N 98°24'39'' W
Parota	15	16°28'50'' N 98°24'51'' W
Parota	16	16°28'54'' N 98°24'50'' W

Fuente: Google Earth, 2023.

#### 2.4. Análisis químico

Las vainas fisiológicamente maduras de cada árbol de algarrobo o parota se mezclaron y se obtuvieron 10 kg de una muestra compuesta de cada vaina; mismas que se usaron para los análisis químicos, *in vitro* e *in situ*. Las muestras compuestas se deshidrataron en una estufa (FELISA® FE-293A, México) a 60°C y se determinó materia seca (MS; método 967.03) según AOAC (2005). Posteriormente, se molieron a un tamaño de partícula de 1 mm. A las vainas de algarrobo y parota se determinó proteína cruda (PC; método 976.05), cenizas (Ce; método 942.05) y extracto etéreo (EE; método 945.39) según AOAC (2005). La materia orgánica (MO) se determinó al restarle a 100 el porcentaje de cenizas. La fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinaron usando soluciones y bolsas ANKOM® Technology Method según Van Soest et al. (1991), adicionando  $\alpha$ -amilasa para FDN con inclusión de cenizas residual en el cálculo. El Extracto libre de nitrógeno (ELN) se determinó al restarle a 100 el porcentaje de PC, Ce, FDN y EE (3 muestras independientes). El contenido de taninos totales (método fonil + pvpp; Makkar, 2003), taninos condensados (técnica de vainillina; Price et al., 1978) y fenoles totales (técnica folin-ciocalteu; Singleton y Rossi, 1965) se determinaron en el laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.

#### 2.5. Ensayo *in vitro*

El biodigestor (5 repeticiones independientes) fue un vial serológico (120 mL) con 0.5 g de muestra de vaina madura de algarrobo o parota, 40 mL de medio de cultivo anaerobio (5% de solución mineral I, 5% de solución mineral II, 5% de solución buffer, 4% de solución reductora, 0.1% de resazurina a 0.1%, 50.9% de agua destilada y 30% de líquido ruminal clarificado) y 10 mL de fluido ruminal fresco como inóculo (Sánchez-Santillán et al., 2020). La elaboración de biodigestor fue bajo flujo de CO<sub>2</sub> para mantener condiciones de anaerobiosis. El fluido ruminal fresco se obtuvo de dos bovinos con cánula ruminal alimentados con pasto pangola y ensilado de mango de desecho. Los biodigestores se colocaron en una incubadora (ECOSHEL 9082, México) a 39 °C durante 72 h.

La producción de biogás se midió a las 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 h de incubación por desplazamiento de un émbolo de una jeringa de vidrio (50 mL; BD Yale®, Brasil). Estos valores se usaron para calcular los estimadores de la cinética de producción de biogás con el modelo de Gompertz:  $Y = A * \{ \exp [-b * \exp (-k * t)] \}$  donde:  $Y$  = volumen de biogás en el tiempo  $t$  (mL g<sup>-1</sup> de MS),  $A$  = potencial de producción de biogás total cuando  $t = \infty$  (mL g<sup>-1</sup> de MS),  $K$  = tasa constante de producción de biogás del material potencialmente degradable (% h<sup>-1</sup>),  $B$  = tiempo lag o eficiencia microbiana (h),  $t$  = tiempo de incubación (Lavrenčič et al., 1997). Los estimadores  $A$ ,  $B$  y  $K$  se estimaron con un análisis de regresión no lineal, utilizando el procedimiento PROC

NLMIXED de SAS Institute Inc (2011). La producción de metano (CH<sub>4</sub>) se midió según la metodología de Stolaroff et al. (2008); usando trampas de NaOH (2N), donde el CO<sub>2</sub> reacciona NaOH y produce Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; por lo que la producción de CH<sub>4</sub> se consideraron los mL desplazados de la solución NaOH (2N) a las 12, 24, 36, 48, 60 y 72 h de incubación.

Las características fermentativas se estimaron a las 12, 24, 48 y 72 h de incubación: degradación de la materia seca (DMSiv), degradación de fibra detergente neutro (DFDNiv) y degradación de proteína cruda (DPCiv) se determinaron por diferencia de peso (Hernández-Morales *et al.*, 2018) y conteo de bacterias totales con una cámara Petroff-Hauser a una amplificación de 1000X en un microscopio de contraste de fases (Velabtm VE-BC3, México) según Sánchez-Santillán et al. (2020).

## 2.6. Ensayo *in situ*

En el ensayo *in situ* se usó una vaca (400 ± 30 kg de PV) fistulada provista de una cánula ruminal (4" Ø interno, Bar Diamond®, Parma, Idaho, USA). Cabe destacar, el ensayo se repitió dos veces. A la vaca se ofreció 3% del PV de alimento compuesto por 20% de suplemento (melaza 10%, urea 3%, minerales 3%, sal común 3%, soya 40% y maíz 41%) y 50% ensilado de mango de desecho y 30% de pasto pangola molido; además agua a libre acceso. El animal recibió una adaptación a la alimentación por ocho días antes de iniciar la prueba.

En bolsas de poli-seda a peso constante (10 cm x 20 cm con un poro promedio de 40 µm) se colocaron 5 g de vaina de algarrobo o parota. Las bolsas se sellaron con cinchos de plástico (100 mm de largo X 2.5 mm de ancho). Las bolsas (triplicado) se incubaron en el rumen durante 0, 3, 6, 9, 12, 16, 24, 36, 48, 72 y 96 h (Rosero y Posada, 2007). Las bolsas se sujetaron con cinchos a una cadena de hierro galvanizado (1.5 cm x 1 m); la cual se fijó al tapón de la cánula ruminal con un gancho de seguridad. La introducción de las bolsas al rumen fue inverso al tiempo de incubación para retirar simultáneamente todas las bolsas con residuo de vaina de algarrobo o parota. Al término de incubación, las bolsas se enjuagaron inmediatamente con agua corriente fría hasta que el agua de enjuague quedó clara (Peng et al., 2020). En cada tiempo de incubación se tomaron 20 mL de fluido ruminal para determinar pH, conteo de bacterias totales y protozoarios (Espinoza-Sánchez et al., 2020; Tabla 2).

**Tabla 2.** Condiciones del rumen durante los tiempos evaluados en la prueba de digestibilidad *in situ*

Hora	pH	Bacterias (células mL <sup>-1</sup> )	Protozoarios (células mL <sup>-1</sup> )
0	6.15	6.13 x10 <sup>9</sup>	3.98 x10 <sup>5</sup>
3	6.25	5.75 x10 <sup>9</sup>	5.88 x10 <sup>5</sup>
6	6.50	4.35 x10 <sup>9</sup>	4.68 x10 <sup>5</sup>
9	6.70	4.90 x10 <sup>9</sup>	4.85 x10 <sup>5</sup>
12	7.20	4.70 x10 <sup>9</sup>	5.48 x10 <sup>5</sup>
18	7.05	4.98 x10 <sup>9</sup>	5.78 x10 <sup>5</sup>
24	6.85	5.78 x10 <sup>9</sup>	7.58 x10 <sup>5</sup>
30	6.75	5.25 x10 <sup>9</sup>	4.80 x10 <sup>5</sup>
36	7.00	5.73x10 <sup>9</sup>	4.35 x10 <sup>5</sup>
48	6.40	5.78 x10 <sup>9</sup>	5.53 x10 <sup>5</sup>
72	5.90	3.70 x10 <sup>9</sup>	7.88 x10 <sup>5</sup>
96	6.02	3.00 x10 <sup>9</sup>	7.83 x10 <sup>5</sup>
Promedio	6.56	5.00 x10 <sup>9</sup>	5.71 x10 <sup>5</sup>

Las bolsas con residuo se secaron a 55 °C por 72 h y se pesaron para determinar desaparición de MS por diferencia de peso. Los residuos de las bolsas de cada vaina por tiempo de incubación se agruparon para obtener una muestra compuesta. A las muestras compuestas se determinó PC, FDN y FDA. Las digestibilidades *in situ* de PC (DPCis), FDN (DFDNis) y FDA(DFDAis) se determinaron como la diferencia en el peso del nutriente antes y después de la incubación ruminal (Peng et al., 2020).

Los estimadores de la cinética de digestibilidad *in situ* de MS, PC, FDN y FDA se calcularon mediante un procedimiento de regresión no lineal, utilizando el procedimiento PROC NLIN de SAS Institute Inc (2011) utilizando la ecuación descrita por McDonald (1981):  $P = a + b [1 - e^{-ct}]$ ; donde: P = digestibilidad ruminal en el tiempo t (%); a = la fracción digestible rápidamente soluble; b = la fracción lenta o potencialmente digestible; c = la velocidad a la que b se digiere; t = tiempo (h) de incubación en el rumen. La fracción indigestible (k) se

---

calculó con la ecuación  $k = 100 - (a + b)$ . La digestibilidad efectiva (DE) de MS, PC, FDN y FDA se estimó utilizando la ecuación descrita por Ørskov y McDonald (1979):  $ED = a + [(b * c) / (c + kd)]$  donde:  $a$ ,  $b$  y  $c$  como se describen anteriormente y  $kd$  = tasa de salida ruminal fija a 0.05%.

### 2.7. Ensayo *in vitro* nematocida

Una muestra de 500 g de vaina de algarrobo o parota se sometió a una extracción por maceración con metanol puro. Las muestras se incubaron a temperatura ambiente (28 °C) por 24 h. Posteriormente, la muestra se filtró por gravedad y el macerado se concentró en un rotavapor (Laborota 4000-efficient Heidolph, España) a 45 °C y 90 rpm según Montañez-Palma et al. (2021). El extracto metanólico obtenido (Ext. MetOH) se secó al vacío utilizando un liofilizador (Labconco, Kansas) y se almacenó a una temperatura de 4 °C hasta su uso.

La producción del nematodo L3 de *Haemonchus contortus* (cepa paraíso; donación de la FMVZ-UADY) para la prueba *in vitro* se obtuvo de un ovino Pelibuey macho de 3 meses de edad libre de parásitos. El ovino se infectó con 350 larvas L3 kg PV<sup>-1</sup> según lo descrito por Chan-Pérez et al. (2017). A los 21 d de infección, se recolectaron 40 g de heces directamente del recto del animal y con la técnica de McMaster se confirmó la infección (Torres et al., 2015). Al confirmar la infección, se recolectaron las heces con ayuda de una palangana. En un recipiente plástico se preparó un coprocultivo, las heces se humedecieron con agua corriente hasta una consistencia semilíquida y se mezclaron homogéneamente con gomaespuma en proporción 1:1, para permitir aireación y retener humedad en el coprocultivo, se incubó a  $27 \pm 2$  °C por 7 d (Montañez-Palma et al., 2021). La recuperación de las larvas fue usando la técnica del embudo de Baermann por 24 h. Una vez obtenidas las larvas, se incubaron en NaClO (0.187%) por 8 min para desenvainarlas; a continuación, se lavaron con agua destilada y centrifugaron (Centrifuga CM-6MT, Estados Unidos) a 3500 rpm por 1.5 min (Vázquez-Bravo et al., 2020).

La mortalidad de larvas L3 de *H. contortus* por efecto de los Ext. MetOH de vainas maduras de algarrobo y parota se evaluó en microplacas de 96 pozos (Corning™). En este ensayo se evaluaron 5 concentraciones de Ext. MetOH de algarrobo y parota (40, 20, 10, 5 y 2.5 mg mL<sup>-1</sup>); se usó un control negativo buffer fosfato salino (PBS; concentración 1X) y un control positivo ivermectina antihelmíntico comercial (concentración 5 mg mL<sup>-1</sup>). En cuatro pozos se colocaron 50 µL de una concentración de Ext. MetOH de algarrobo o parota y 50 µL de una suspensión acuosa que contenía 100 larvas L3 de *H. contortus*. Así mismo, 4 pozos con control negativo y 4 con control positivo. La placa se incubó a  $28 \pm 1$  °C durante 72 h (González-Cortázar et al., 2021). Al terminó de la incubación, se tomó una alícuota de 10 µL de un pozo, se colocó en un portaobjetos y se realizó una lectura en un microscopio óptico (40x y 10x) para cuantificar el número de larvas vivas y muertas (10 repeticiones por pozo). El porcentaje de mortalidad se calculó y ajustó mediante la fórmula de Schneider-Orelli (Pineda-Alegría et al., 2017) mortalidad (%) =  $(\bar{X}$  grupo tratado -  $\bar{X}$  control negativo /  $100 - \bar{X}$  control negativo) \* 100.

### 2.8. Análisis estadístico

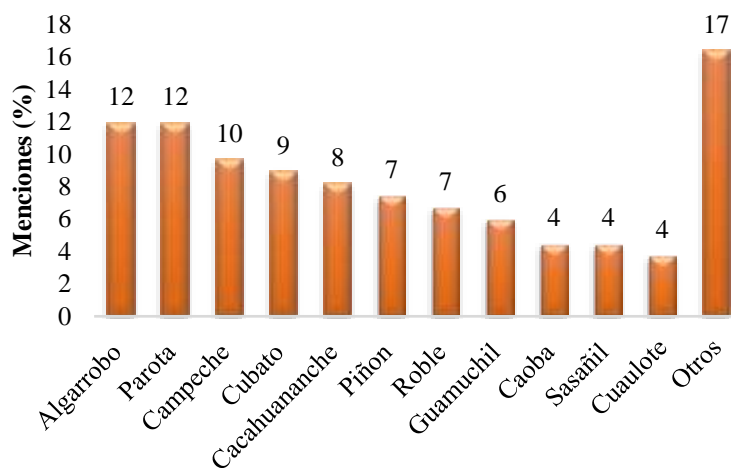
La información de las encuestas se capturó en una base de datos de Microsoft Excel, donde se ordenó y se obtuvieron estadísticos descriptivos. La producción de vaina árbol<sup>-1</sup> y variables dasométricas (edad, altura, diámetro y área de proyección de la copa) se analizaron mediante un análisis descriptivo y una correlación entre variables. En las variables químicas, el ensayo *in vitro* y el ensayo *in vitro* para probar el efecto nematocida de los extractos de vaina o parota se usó un diseño completamente al azar. Los datos se analizaron con el procedimiento PROC GLM de SAS (SAS Institute Inc, 2011). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). El diseño experimental para las variables del ensayo *in situ* fue completamente al azar. El experimento se repitió una vez y los datos se analizaron como medidas repetidas con el procedimiento MIX de SAS (SAS Institute Inc, 2011). Los promedios se ajustaron por mínimos cuadrados para compararlos con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). El ensayo se analizó en un diseño completamente al azar. Cabe señalar, en la respuesta al aumento de la concentración de los extractos de las vainas maduras de algarrobo y parota contra larvas L3 de *H. contortus* se realizó un análisis de contrastes ortogonales. Además, se hizo una prueba de correlación de las variables dasométricas y las degradaciones *in vitro* vs *in situ*.

## 3. Resultados

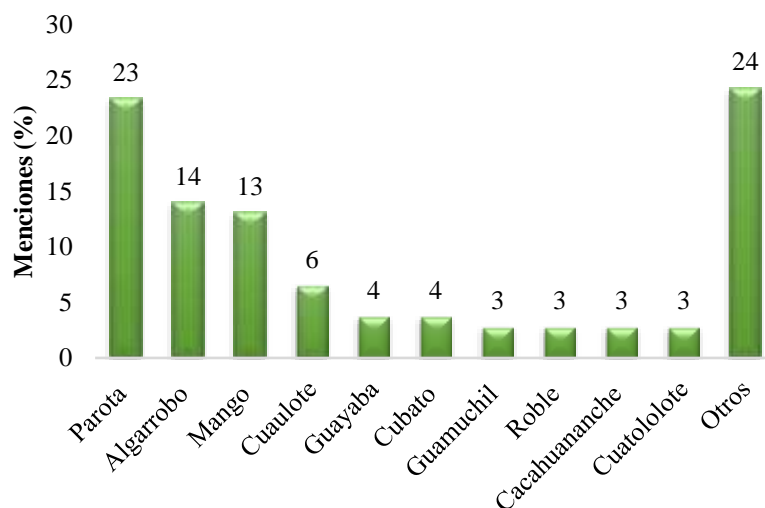
### 3.1. Encuestas a productores

Los resultados muestran que 95% de los encuestados cuenta con cerca viva en sus potreros; de los cuales, los árboles de algarrobo, parota, campeche (*Haematoxylum campechianum*) son los más mencionados (Figura 1).

Entre los beneficios que obtienen de los árboles es su uso como sombra (39% menciones) y alimento para el ganado (25% menciones); donde los árboles de parota, algarrobo y mango (*Mangifera indica*) son los principales usados para estos fines (Figura 2). El resto de los beneficios es su uso como postes (23%), leña (9%) y maderables (5%).



**Figura 1.** Árboles usados como cerca viva en potreros  
**Fuente:** Elaboración propia con base en entrevista a productores.



**Figura 2.** Árboles que los productores prefieren en su potrero  
**Fuente:** Elaboración propia con base en entrevista a productores.

De los productores encuestados, 95% tienen árboles de parota o algarrobo en su unidad de producción. El 90% de ellos confirma que en la temporada de sequía se producen estos frutos y sus animales consumen perfectamente las vainas que se producen. Así mismo, ambas vainas son valoradas por su aporte nutricional desde el punto de vista de los productores; siendo la vaina de algarrobo la que mejor aprecian, ya que 94% de los encuestados clasificó su valor nutricional como alto o muy alto. En contraste, la misma calificación para la vaina de parota fue de 66% de las opiniones.

El 86% de los productores permiten que su ganado consuma las vainas de algarrobo o parota por sí mismo. Sin embargo, 12% de los encuestados utiliza una estrategia combinada, es decir, permite que el ganado consuma las vainas directamente del suelo, pero en ocasiones recogen estas vainas, las muelen y preparan algún tipo de

suplemento usando otros ingredientes como maíz, o pastas de oleaginosas. En contraparte, solo 2% de los productores recogen y muelen las vainas. Cabe destacar, los productores mencionaron que hay comercialización de costallitas (40 kg) de vainas entre \$50.00 y \$100.00. Es importante resaltar, 100% de los productores encuestados están dispuestos a promover la conservación de estos árboles en sus potreros por los beneficios que obtienen para su ganado.

### 3.2 Producción de vainas y variables dasométricas

El árbol de algarrobo produjo 1.28 veces más vaina que el árbol de parota. Los árboles de parota presentaron en promedio mayor altura (10.5 m), diámetro a la altura del pecho (25.1 cm), diámetro de copa (25.3 m) y edad (7.1 años) todo ello en comparación a los árboles de algarrobo (Tabla 3).

**Tabla 3.** Producción de vainas maduras y variables dasométricas de leguminosas arbóreas

	N	Media	Sd	Min	Max
<i>Algarrobo</i>					
Vaina producida (kg MS árbol <sup>-1</sup> )	8	87.3	47.9	43.9	190.8
Altura (m)	8	13.5	2.1	10.6	17.2
Diámetro a la altura del pecho (cm)	8	90.5	24.9	45.5	124.1
Copa (m)	8	58.3	14.0	33.7	75.9
Edad (años)	8	23.5	9.9	7.0	32.0
<i>Parota</i>					
Vaina producida (kg MS árbol <sup>-1</sup> )	8	67.8	23.7	39.9	110.3
Altura (m)	8	24.0	4.5	17.4	28.9
Diámetro a la altura del pecho (cm)	8	115.6	26.2	78.0	156.9
Copa (m)	8	83.6	13.0	69.4	103.5
Edad (años)	8	30.6	11.1	15.0	50.0

N = número de muestras; Sd = desviación estándar; Min = mínimo; Max = máximo.

### 3.3. Análisis químico

El contenido de PC y EE no mostraron diferencias entre vainas ( $p > 0.05$ ). El contenido de MS, Ce, FDN, FDA y hemicelulosa de la vaina de parota fue 2.86, 33.22, 29.72, 30.19 y 28.83% mayor que la vaina de algarrobo ( $p < 0.05$ ). La vaina de algarrobo presentó 1.11 y 21.59% más MO y ELN que la vaina de parota ( $p < 0.05$ ). El contenido de fenoles totales de la vaina de algarrobo fue 5% mayor que para la vaina de parota; en contraste, el contenido de taninos totales y taninos condensados de la vaina de parota fue 1.0 y 2.6 veces más que la vaina de algarrobo (Tabla 4), respectivamente.

**Tabla 4.** Análisis químico de vainas maduras de algarrobo y parota

Variable (%)	Algarrobo	Parota	p-valor
Materia seca	89.34	91.90	0.0264
Materia orgánica	96.78	95.71	0.0002
Cenizas	3.22	4.29	0.0002
Proteína cruda	15.51	15.45	0.9413
Fibra detergente neutro	28.60	37.10	0.0003
Fibra detergente ácido	17.85	23.24	0.0093
Hemicelulosa	10.75	13.85	0.0183



**Continuación Tabla 5.** Análisis químico de vainas maduras de algarrobo y parota

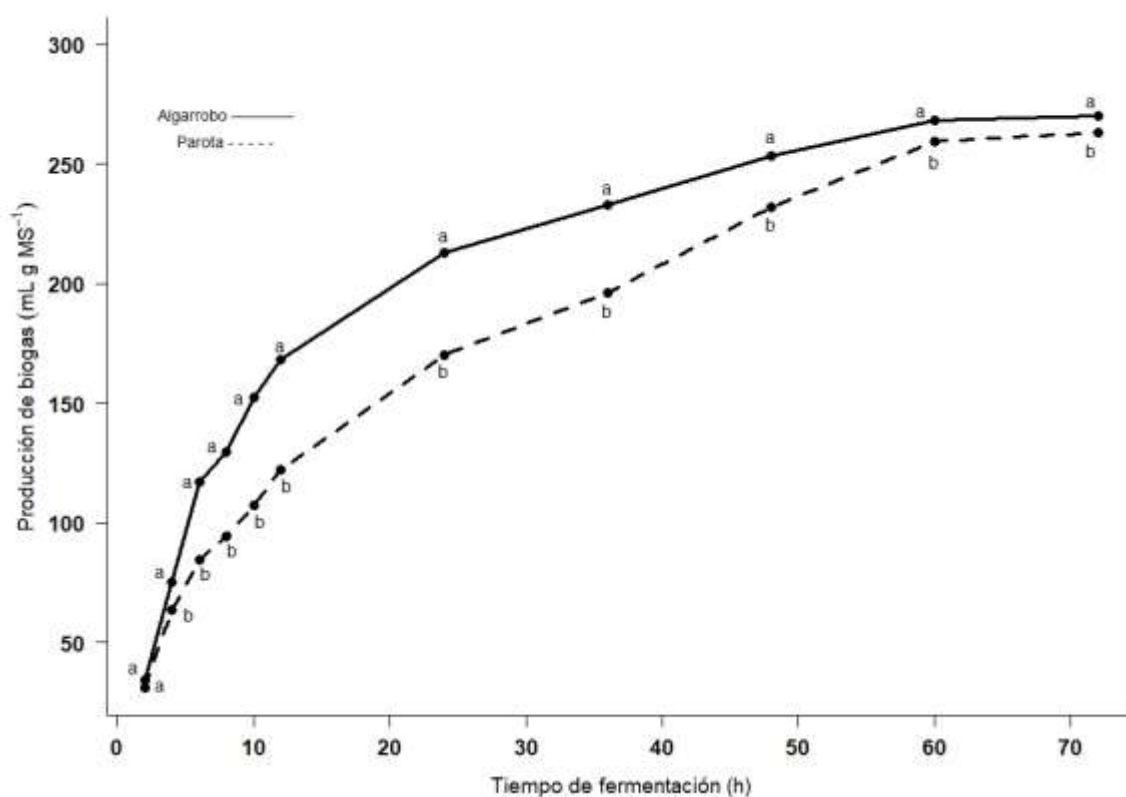
Variable (%)	Algarrobo	Parota	p-valor
Extracto etéreo	0.52	0.27	0.5033
Extracto libre de nitrógeno	52.15	42.89	0.0036
Fenoles totales*	2.1	2.0	-
Taninos totales*	1.07	1.08	-
Taninos condensados*	0.03	0.08	-

\*No se realizó análisis de varianza

### 3.4. Ensayo *in vitro*

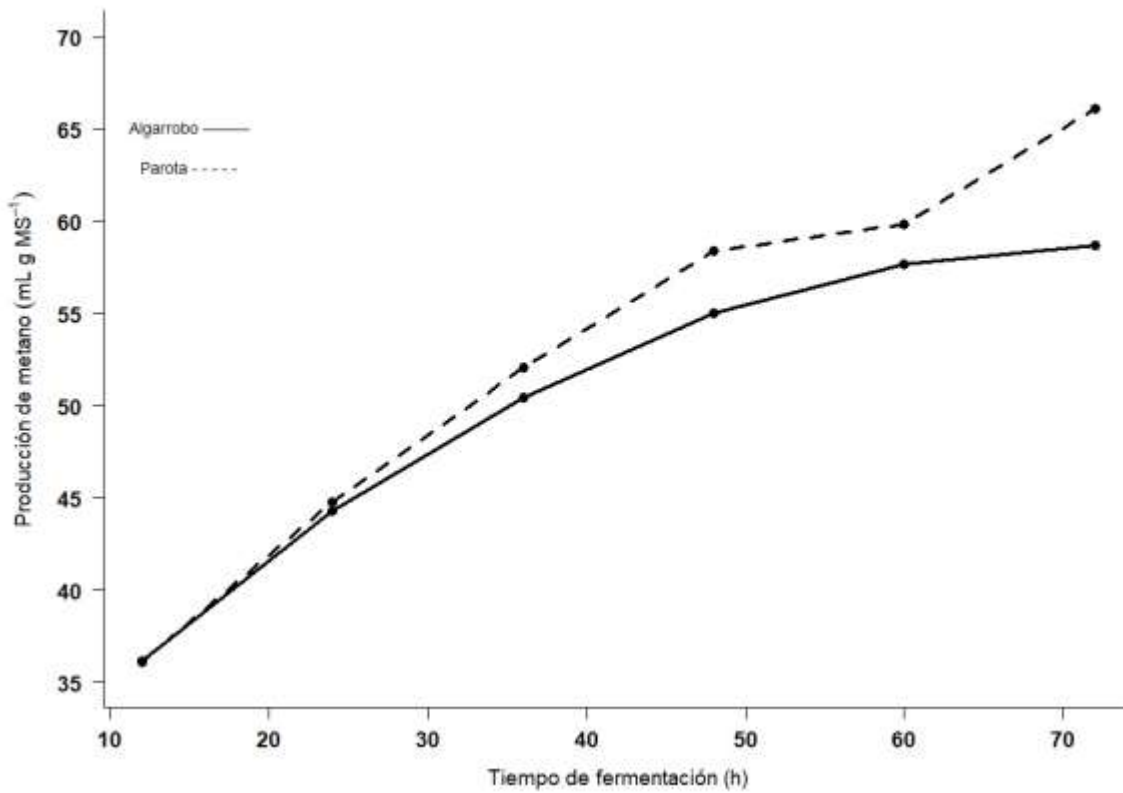
La producción acumulada de biogás a las 4, 6, 8, 10, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 h de fermentación la vaina de algarrobo presentó 17.86, 39.02, 37.5, 41.58, 37.59, 25.23, 18.93, 9.27, 3.43 y 2.73% mayor producción de biogás que la vaina de parota ( $p < 0.05$ ;

**Figura 3).** En contraste, la producción acumulada de CH<sub>4</sub> en los diferentes tiempos de incubación no presentó diferencias entre vainas ( $p > 0.05$ ; Figura 4), promediando 51.61 mL g<sup>-1</sup> MS a las 72 h.



a,b Valores con distinta literal en cada tiempo de fermentación indican diferencias ( $p < 0.05$ ).

**Figura 3.** Producción acumulada de biogás *in vitro* hasta las 72 h de vainas maduras de algarrobo y parota



**Figura 4.** Producción acumulada de metano *in vitro* hasta las 72 h de vainas maduras de algarrobo y parota

La DMSiv de la vaina de algarrobo y parota a diferentes tiempos de fermentación presentaron su máximo potencial a las 48 h ( $p < 0.05$ ); ya que la DMSiv a las 48 y 72 h en cada vaina no mostró diferencias ( $p > 0.05$ ). Además, la vaina de algarrobo mostró 30.00 y 10.51% mayor DMSiv a las 12 y 24 h que la vaina de parota ( $p < 0.05$ ; Tabla 6). Ambas vainas presentaron la mayor DFDNiv a las 72 h ( $p < 0.05$ ); así mismo, la vaina de algarrobo presentó 109.79 y 16.83% mayor DFDNiv que la vaina de parota a las 12 y 24 h de fermentación ( $p < 0.05$ ); en contraste, la vaina de parota mostró 95.07 y 122.28% más DFDNiv a las 48 y 72 h, que la vaina de algarrobo ( $p < 0.05$ ; Tabla 6). La DPCiv a diferentes tiempos de fermentación dentro de cada vaina, mostró que la vaina de parota presenta el mayor potencial de degradación ruminal a las 48 h, mientras que la vaina de algarrobo fue a las 72 h ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, en cada tiempo de fermentación no se mostró una diferencia en la DPCiv entre vainas ( $p > 0.05$ ; Tabla 6).

El conteo total de bacterias en el medio de cultivo no mostró diferencias entre los tiempos de fermentación ( $p > 0.05$ ) usando vaina madura de parota como sustrato. En cambio, cuando se usó la vaina de algarrobo como sustrato, a las 24 h hubo  $0.9 \times 10^9$  células  $\text{mL}^{-1}$  más que a las 48 h ( $p < 0.05$ ). Comparando las vainas como sustratos, a las 24 h, la vaina de parota presentó 26.86% más conteo total de bacterias que la vaina de algarrobo ( $p < 0.05$ ; Tabla 6). Respecto a los estimadores de la cinética de producción de biogás; el estimador  $A$  no mostró diferencias entre vainas ( $p > 0.05$ ); mientras que los estimadores  $K$  y  $B$  de la vaina de algarrobo fueron 0.08 y 0.49% mayores que en la vaina de parota ( $p < 0.05$ ; Tabla 6).

**Tabla 6.** Características fermentativas de la prueba *in vitro* y cinética de fermentación de vainas maduras de algarrobo y parota

Tiempo (h)	Algarrobo	Parota
Degradación de materia seca (%)		
12	51.56 Ca	39.66 Cb
24	57.06 Ba	51.63 Bb
48	70.32 Aa	71.78 Aa
72	70.95 Aa	72.54 Aa
Degradación de fibra detergente neutro (%)		
12	7.28 Da	3.47 Db
24	20.13 Ca	17.23 Cb
48	33.30 Bb	64.96 Ba
72	40.26 Ab	89.49 Aa
Degradación de proteína cruda (%)		
12	50.38 Da	48.21 Ca
24	57.35 Ca	58.03 Ba
48	73.54 Ba	74.15 Aa
72	77.63 Aa	77.14 Aa
Conteo total de bacterias (células mL <sup>-1</sup> )		
12	4.08x10 <sup>9</sup> Ba	4.78 x10 <sup>9</sup> Aa
24	4.28 x10 <sup>9</sup> Bb	5.43 x10 <sup>9</sup> Aa
48	5.18 x10 <sup>9</sup> Aa	5.77 x10 <sup>9</sup> Aa
72	4.18 x10 <sup>9</sup> Ba	5.33 x10 <sup>9</sup> Aa
Cinética de producción de gas		
<i>A</i> (mL g <sup>-1</sup> MS)	249.29	251.14
<i>K</i> (% h <sup>-1</sup> )	0.15 a	0.07 b
<i>B</i> (h)	2.45 a	1.96 b

a,b = Medias con distinta literal minúscula en una misma fila, indican diferencias ( $p < 0.05$ ).

A,B,C,D = Medias con distinta literal mayúscula en una misma columna, indican diferencias ( $p < 0.05$ ).

*A* = potencial de producción de biogás total cuando; *K* = tasa constante de producción de biogás del material potencialmente degradable; *B* = tiempo lag o eficiencia microbiana.

### 3.5. Ensayo *in situ*

La DMSis a las 24 h y sus estimadores *a*, *b*, *k*, *c* y ED no mostraron diferencias entre vainas ( $p > 0.05$ ); en contraste, la DMSis a las 48 y 72 h de la vaina de parota fue 2.70 y 3.33% mayor que la vaina de algarrobo ( $p < 0.05$ ; Tabla 7). La digestibilidad *in situ* de PC a 24, 48, 72 h y estimador *b* de la vaina de parota fue 2.90, 2.11, 2.09 y 68.69% mayor que en la vaina de algarrobo ( $p < 0.05$ ); en contraste, la vaina de algarrobo en los estimadores *a*, *k* y ED fue 16.01, 25.38 y 1.62% mayor que la vaina de parota ( $p < 0.05$ ; Tabla 7).

**Tabla 7.** Digestibilidad y cinética de digestibilidad *in situ* de los nutrientes de vainas maduras de algarrobo y parota

Variable	Algarrobo	Parota	<i>p</i> -valor
<b>Materia seca</b>			
24 (%)	79.06	78.54	0.1291
48 (%)	80.49	82.67	0.0033
72 (%)	81.20	83.91	0.0014
<i>a</i> (%)	68.15	70.95	0.7105
<i>b</i> (%)	7.78	5.91	0.5614
<i>k</i> (%)	24.07	23.14	0.8526
<i>c</i> (%)	0.08	0.08	0.8677
ED (%)	72.43	74.54	0.7321
<b>Proteína cruda</b>			
24 (%)	87.42	89.96	<0.0001
48 (%)	88.25	90.12	0.0007
72 (%)	88.42	90.27	0.0010
<i>a</i> (%)	71.15	61.33	<0.0001
<i>b</i> (%)	17.60	29.69	<0.0001
<i>k</i> (%)	11.26	89.80	0.0055
<i>c</i> (%)	0.11	0.11	0.7123
ED (%)	83.12	81.79	0.0002
<b>Fibra detergente neutro</b>			
24 (%)	49.88	58.96	0.0002
48 (%)	52.80	65.13	0.0001
72 (%)	53.67	66.57	<0.0001
<i>a</i> (%)	29.24	20.37	0.0553
<i>b</i> (%)	24.33	47.48	<0.0001
<i>k</i> (%)	46.42	32.16	0.0003
<i>c</i> (%)	0.09	0.08	0.6803
ED (%)	44.37	48.12	0.3932

*a* = fracción digestible rápidamente soluble; *b* = fracción lenta o potencialmente digestible; *c* = velocidad a la que *b* se digiere; *k* = fracción indigestible; ED = digestibilidad efectiva con una tasa de paso de 0.05% h<sup>-1</sup>.

**Continuación Tabla 8.** Digestibilidad y cinética de digestibilidad *in situ* de los nutrientes de vainas maduras de algarrobo y parota

Variable	Algarrobo	Parota	<i>p</i> -valor
Fibra detergente ácido			
24 (%)	46.08	47.75	0.0757
48 (%)	43.60	54.12	0.0005
72 (%)	45.45	56.54	0.0003
<i>a</i> (%)	24.06	17.71	0.2286
<i>b</i> (%)	20.79	42.56	<0.0001
<i>k</i> (%)	55.14	39.73	0.0017
<i>c</i> (%)	0.09	0.06	0.1156
ED (%)	37.12	38.63	0.7146

*a* = fracción digestible rápidamente soluble; *b* = fracción lenta o potencialmente digestible; *c* = velocidad a la que *b* se digiere; *k* = fracción indigestible; ED = digestibilidad efectiva con una tasa de paso de 0.05% h<sup>-1</sup>.

La DFDNis de la vaina de parota a las 24, 48, 72 h y *b* fue 18.20, 23.35, 24.03, 231.5% mayor que la vaina de algarrobo ( $p < 0.05$ ). El estimador *k* en la vaina de algarrobo mostró 14.26 % más que la vaina de parota ( $p < 0.05$ ). Los estimadores *a*, *c* y ED no presentaron diferencias entre vainas ( $p > 0.05$ ; Tabla 7). La DFDAs a las 24 h, así como los estimadores *a*, *c* y ED no presentaron diferencias entre vainas ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, la DFDAs a las 48 y 72 h, así como *b* de la vaina de parota fue 24.12, 24.40 y 104.71% mayor que la vaina de algarrobo ( $p < 0.05$ ). La vaina de algarrobo presentó 38.78% mayor *k* que la vaina de parota ( $p < 0.05$ ; Tabla 7).

### 3.6. Evaluación *in vitro* nematocida

El Ext. MetOH de vaina de parota no presentó ningún efecto ortogonal ( $p > 0.05$ ) en la mortalidad de larvas L3 de *H. contortus* (Tabla ). Sin embargo, presentó mayor mortalidad de larvas L3 a una concentración de 40 mg mL<sup>-1</sup> (Tabla ). En contraste, el Ext. MetOH de vaina de algarrobo mostró efecto lineal en la mortalidad de larvas L3 de *H. contortus* a medida que se incrementó la concentración del extracto ( $p < 0.05$ ; Tabla ).

**Tabla 7.** Mortalidad de larvas L3 de *H. contortus* a las 72 h post confrontación con extractos metanólicos de vainas maduras de algarrobo y parota

Tratamiento	Concentraciones (mg/mL)	Mortalidad larvas (%)	SD
Control negativo	1X	0.0 <sup>g</sup>	0
Control positivo	5	100.0 <sup>a</sup>	0
	2.5	4.03 <sup>fg</sup>	4.20
	5	33.21 <sup>de</sup>	9.29
Ext. MetOH de algarrobo	10	72.55 <sup>b</sup>	13.96
	20	51.66 <sup>bc</sup>	8.40
	40	13.51 <sup>ef</sup>	9.21
	2.5	26.03 <sup>cde</sup>	13.24
	5	32.44 <sup>cde</sup>	7.26
Ext. MetOH de parota	10	35.73 <sup>cd</sup>	12.09
	20	40.37 <sup>cd</sup>	15.68
	40	49.52 <sup>bcd</sup>	5.67

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> Valores con distinta literal indican diferencias ( $p < 0.05$ ).

Ext. MetOH = extracto metanólico; SD = desviación estándar

**Tabla 8.** Contrastes ortogonales de extracto metanólico de vainas maduras de algarrobo y parota contra larvas L3 de *H. contortus*

Extracto metanólico	Contrastes ortogonales		
	Lineal	Cuadrático	Cúbico
Algarrobo	0.0049	< 0.0001	0.0438
Parota	0.0737	0.3736	0.8024

#### 4. Discusión

Es importante destacar que las leguminosas arbóreas no se evalúan en la misma medida que las leguminosas herbáceas, por lo que se puede considerar a las leguminosas arbóreas subexplotadas en el ámbito agropecuario (Dubeux et al., 2017). El presente estudio planteó el objetivo de caracterizar las vainas maduras de algarrobo y parota, incluyendo los árboles y la opinión de los productores que conocen las vainas; pasando por una determinación de su contenido químico y la evaluación de fermentación ruminal en condiciones *in vitro* e *in situ*; además de la obtención de extracto orgánico metanólicos para su evaluación nematocida *in vitro*. Esta generación de conocimientos es importante porque regularmente los estudios de este tipo de vainas se incluyen como parte de suplementos (Albores-Moreno et al., 2017; Carbajal-Márquez et al., 2021; Delgado et al., 2014) o dietas integrales (Amankwah et al., 2022; Gutiérrez-Oviedo et al., 2022; Herrera-Pérez et al., 2021; Piñeiro-Vázquez et al., 2013); y pocas veces son estudios exclusivos de las vainas (Barrientos-Ramírez et al., 2015; Hernández-Morales et al., 2018). Por lo que la caracterización de las vainas maduras de algarrobo y parota del presente estudio genera información útil para la planeación estratégica de su inclusión en la dieta de rumiantes, particularmente en la época de sequía de la región y el uso potencial de sus metabolitos secundarios en el área de la salud animal.

##### 4.1. Encuesta a productores

El primer paso es conocer la opinión de los productores y de su experiencia empírica con el uso de las vainas en sus unidades de producción. Esto porque el conocimiento empírico es importante, ya que ellos tienen visión más completa de la interacción entre el animal y las vainas de algarrobo y parota. De modo que el uso de los árboles identificados en las unidades de producción es multipropósito, ya que son usados como cercas vivas, sombra o alimento. Olivares-Pérez et al. (2011) reportaron en un estudio de usos de los árboles no leguminosos en sistemas silvopastoriles del sur del estado de México, que 29% de los productores los usan como cercas vivas, 36% los usa como sombra y 64% mencionaron que sus animales consumen follaje y frutos. En general, los usos identificados en el presente estudio coinciden con lo reportado por Abraham et al. (2022); quienes mencionaron el uso de nueve especies arbóreas y arbustivas, destacando el género *Acacia* para su uso en nutrición, postes, leña, carbón, medicina tradicional, cercas y alimentación de abejas.

En general, los árboles mencionados en el presente estudio (15 especies mencionadas) coinciden con la vegetación de la zona, pues tienen adaptación a las condiciones climáticas de la región. Es importante destacar, que los árboles de interés en el presente estudio fueron los de mayor importancia para los productores; ya que estos son usados en la época de estiaje, principalmente sus frutos, que son utilizados para la alimentación del ganado. Situación similar a lo publicado por Olivares-Pérez et al. (2019); quienes mencionaron que los árboles *Guazuma ulmifolia* (66.7%) y *Crescentia alata* (52.2%) en el sur del Edo. de México son valoradas por su potencial forrajero, donde los frutos son el componente morfológico que favorece la ganadería. Los productores generalmente permiten que el ganado consuma los frutos directamente; o los recolectan, muelen y combinan con otros ingredientes para formular empíricamente un suplemento. Abraham et al. (2022) reportaron la relación entre disponibilidad de 21 especies de árboles y arbustos forrajeros leguminosos y la preferencia de distintas especies animales en el Sur de Etiopía; la mayoría de las especies identificadas fueron valoradas positivamente en la alimentación de cabras y ovejas, pero los bovinos comen principalmente las hojas de las especies menos espinosas, vainas y frutos. Además de que algunas especies se usan para alimentar ganado con un propósito único. De modo que, los productores tienen una idea de cómo usar las vainas, pero requieren de datos que les permitan tomar decisiones para planear una estrategia de alimentación considerando la incorporación de dichas vainas.

##### 4.2 Producción de vainas y variables dasométricas

La relación de la copa con el diámetro del tronco en el algarrobo fue 64.4 veces, sin embargo, en el árbol de parota fue de 72.3 veces, por lo que parota requiere mayor cantidad de energía para mover los nutrientes y agua en toda la copa (Duarte-Vargas et al., 2021). Esto coincide con la correlación positiva entre copa y altura ( $r =$

---

0.68716;  $p = 0.0033$ ) del estudio general de los árboles del presente estudio. La altura promedio del árbol de algarrobo fue 23.1% de la longitud de la copa, mientras en parota fue 28.7%; esta relación es importante porque este diseño biofísico tiene que ver con la producción de vainas, ya que favorecen la intercepción de luz. De modo que, estas características dasométricas permiten analizar cuantitativamente este tipo de leguminosas arbóreas. El análisis de correlación mostró que la producción de vainas no presentó ( $p > 0.05$ ) una correlación con las variables dasométricas. Correlación que no coincide con lo reportado con Duarte-Vargas et al. (2021), ellos encontraron que la producción de vainas de *Senna spectabilis* se relacionó con el diámetro y volumen de la copa.

La asignación de los recursos para la formación y desarrollo de las vainas es poco estudiada, comparado con la movilización de nutrientes a partir de otras estructuras de los árboles. Así mismo, las fitohormonas y efectos pleiotrópicos influyen en el desarrollo de las vainas; ya que estas son capaces de almacenar nitrógeno y carbono para la producción de las semillas que contengan proteínas, lípidos y almidones; por lo que se considera un sumidero de nutrientes durante su desarrollo (Bennett et al., 2011). Aguirre et al. (2021) publicaron valores inferiores de edad (5-6 años), altura (6.6 m), diámetro del tronco (15.7 cm) y producción de vaina (20.5 kg MS árbol<sup>-1</sup>) en árboles de *Samanea saman* en el oriente de Cuba; dichos valores pueden ser consecuencia de la edad de los árboles; ya que hay 17 años de diferencia y eso repercutió en los valores dasométricos y producción de vainas en ambos estudios. Olivares-Pérez et al. (2011) reportaron en árboles de parota del sur del Estado de México valores menores en altura (12.5 m) y diámetro (48 cm) de tronco al presente estudio; mientras, en el estado de Jalisco, publicaron valores menores en altura (17.3 m) y diámetro del tronco (167 cm), así como valores superiores de producción de vaina (696 kg árbol<sup>-1</sup>) al presente estudio en árboles de parota (Luna-Vega et al., 2017).

#### 4.3. Análisis químico

La determinación de la composición química es vital para comprender las propiedades nutricionales de los ingredientes del alimento (Selim et al., 2022). Las vainas contienen hasta 69% de carbohidratos (Armijo-Nájera et al., 2019) representando una fuente de energía. En el proceso de maduración de las vainas se depositan concentraciones de fibra lignificada para dar soporte a las semillas, lo cual se asocia con el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa (FDN; Pérez-Gil et al., 2014). El contenido de metabolitos secundarios de las vainas es importante, ya que en altas concentraciones (> 3%) fungen como factores antinutricionales (Armijo-Nájera et al., 2019) provocando astringencia reduciendo el consumo de MS (Portela-Díaz et al., 2022); pero en bajas concentraciones mejoran la degradación de nutrientes a nivel ruminal (Olivares-Pérez et al., 2019).

Respecto a los resultados obtenidos en el presente estudio, Olivares-Pérez et al. (2019) reportaron valores inferiores de PC (13.55%), FDN (13.85%) y FDA (13.85%), así como valores superiores de MO (95.79%), fenoles totales (2.82%) y taninos condensados (7.17%) para vainas maduras de parota de la región Tierra Caliente, Guerrero. Además, Luna-Vega et al. (2017) publicaron valores superiores de ELN (60.45%), EE (1.29%), MS (96.13%), MO (95.75%), PC (22.90%) y FDA (31.28%) e inferiores en Ce (4.25%), FDN (34.58%) y hemicelulosa (3.30%) para vainas maduras de parota en la localidad Chacala, municipio de Cabo Corrientes, Jalisco. Hernández-Morales et al. (2018) reportaron valores superiores de PC (16.08% PC), FDN (34.37%), FDA (25.06%) y Ce (4.29%) para vainas de algarrobo colectadas en el municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero. Delgado et al. (2014) publicaron valores superiores de Ce (3.66%), PC (16.68%), FDN (36.87%), FDA (29.05%) y EE (5.6%), además inferiores en MS (63.70%). De modo que, el valor nutricional de las vainas fisiológicamente maduras de algarrobo y parota varían según las condiciones edafoclimáticas durante su producción, así como fertilidad, pH y tipo de suelo, concentración de humedad; así también la edad de las vainas al momento de la cosecha y la variabilidad genética en la misma especie (Armijo-Nájera et al., 2019).

#### 4.4. Ensayo *in vitro*

Las metodologías *in vitro* en la investigación de nutrición animal sirven para disminuir el uso de animales, tiempo y costo experimental (Vinyard y Faciola, 2022). La técnica de producción de biogás *in vitro* permite identificar de manera indirecta la fermentación de los carbohidratos solubles y de la pared celular por microorganismos ruminales (Sánchez-Santillán et al., 2015); ya que los gases producidos (CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>) se derivan principalmente de la fermentación de los carbohidratos que contienen los sustratos, pues la producción de gas de las proteínas, lípidos y grasas se consideran insignificantes (Amanzougarene y Fondevila, 2020). En general, la fermentación de la vaina de algarrobo produjo 78.8% del biogás total, en las primeras 24 h; mientras, que cuando el sustrato fue la vaina de parota, se produjeron 64.6% del biogás en las primeras 24 h. Esto indica

---

que las vainas contienen una gran cantidad de carbohidratos solubles, dado que en las primeras 24 h se fermentan los carbohidratos no estructurales (Torres-Salado et al., 2018). Lo cual coincide con los contenidos de ELN de las vainas evaluadas en el presente estudio (Tabla 4).

Esta misma técnica, permite diferenciar entre el contenido de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> porque son los principales gases producidos a partir de los productos finales de la fermentación, pues el resto de los gases producidos se consideran trazas (Amanzougarene y Fondevila, 2020). De tal manera, la producción de CH<sub>4</sub> a las 72 h representó 21.7 y 25.1% del gas total producido por la vaina de algarrobo y parota. Torres-Salado et al. (2018) reportaron que la producción de CH<sub>4</sub> representó 18.8 y 17.0% del gas producido por la vaina de algarrobo y parota; valores inferiores al presente estudio. Rojas-García et al. (2020) publicaron que el CH<sub>4</sub> representó 37.7% del gas total producido a las 72 h en un suplemento elaborado con 50% de vaina de parota y 50% harina de cáscara con pulpa de calabaza; valores superiores al presente estudio. Estas diferencias se asumen al contenido de metabolitos secundarios de las vainas y la cantidad disponible durante el proceso de fermentación *in vitro*; dado que los taninos forman complejos con enzimas microbianas o paredes celulares e inhiben microorganismos metanógenos y actividad anti-protozoaria, principalmente ciliados (Cardoso-Gutiérrez et al., 2021; Ku-Vera et al., 2020). Así mismo, Olivares-Pérez et al. (2019) publicaron valores inferiores de gas *in vitro* en vainas de parota a 96 h de fermentación (185.3 mL g<sup>-1</sup> MS); Oca et al. (2011) mostraron una producción menor de gas (175 mL g<sup>-1</sup> MS) en vaina de parota a 72 h de fermentación; y Juárez et al. (2013) reportaron valores inferiores en vainas de algarrobo fermentados por 48 h (197.0 mL g<sup>-1</sup> MS).

La DMSiv a diferentes tiempos de incubación permiten diferenciar la cantidad de nutrientes solubles que contiene las vainas; de tal manera que los valores de DMSiv a 12 y 24 h (Tabla 6) indican que la vaina de algarrobo contiene más nutrientes solubles (Muro et al., 2017) que la vaina de parota; pero la vaina de parota contiene nutrientes potencialmente degradables por acción de microorganismos ruminales (Tabla 6). De modo que, en el caso de la DFDNiv, la vaina de algarrobo contiene dos veces más contenido de FDN soluble que la parota a las 12 h de fermentación; pero la vaina de parota contuvo 86.02% de FDN degradable por microorganismos ruminales, o sea 2.2 veces más que la vaina de algarrobo (32.98%; Tabla 6). En el caso del nutriente proteína, dados los valores de DPCiv a los diferentes tiempos de fermentación (Tabla 6), su contenido de proteína soluble y degradable por microorganismos ruminales no presentó diferencia entre las vainas evaluadas. Por lo que, el nutriente FDN se consideró el factor determinante de los nutrientes solubles y con potencial degradable por microorganismos ruminales entre las vainas fisiológicamente maduras de algarrobo y parota. Valores inferiores en DMSiv (57.62%), DFDNiv (11.83%) y DPCiv (31.10) a las 48 h de incubación se reportaron en vainas de algarrobo colectadas en Gannavaram, India (Kishore et al., 2017); así como valores inferiores en DMSiv (39.8%) a las 72 h de incubación se reportaron en vainas de parota colectadas en Estado de México, México (Oca et al., 2011).

El conteo de bacterias totales en el medio de cultivo después de los periodos de fermentación se realizó para determinar si hubo un efecto de los metabolitos secundarios en la población de las bacterias ruminales (Cardoso-Gutiérrez et al., 2021; Ku-Vera et al., 2020), encontrando sólo una diferencia entre los sustratos vainas a las 24 h y dentro de la vaina de algarrobo de las 24 a 48 h. Valores similares en conteo de bacterias totales a las 72 h se reportaron en medios de cultivo usando como sustratos vaina de algarrobo (1.69x10<sup>9</sup> bacterias mL<sup>-1</sup>) y parota (1.67x10<sup>9</sup> bacterias mL<sup>-1</sup>; Hernández-Morales et al., 2018).

El uso de modelos matemáticos sirve para describir fenómenos biológicos, y en nutrición animal se usan para ajustar la producción de gas *in vitro* (da Silva et al., 2021). El modelo de Gompertz permite inferir que la vaina de algarrobo presentó una tasa de producción de gas del material potencialmente fermentable (*B*) del doble, pero fue mayor el tiempo que tardaron los microorganismos en colonizar el sustrato (*K*) lo que dio como resultado que las vainas no presentan diferencias en el potencial máximo de producción de gas (*A*). Valores inferiores para *A* (179.7 mL g<sup>-1</sup> MS) y *B* (1.03 h) y similares para *K* (0.06 % h<sup>-1</sup>) se reportaron en una cinética de producción de gas a 96 h de fermentación con vainas de parota colectadas en Altamirano, Guerrero, México (Olivares-Pérez et al., 2019); así como valores inferiores para *A* (205 mL g<sup>-1</sup> MS), *K* (0.06 % h<sup>-1</sup>) y *B* (0.00 h) en vainas de algarrobo fermentadas por 96 h (Juárez et al., 2013); además valores inferiores para *A* (42.07 mL g<sup>-1</sup> MS), *K* (0.03 % h<sup>-1</sup>) y *B* (1.12 h) en vainas de algarrobo fermentadas por 96 h y colectadas en el mes de mayo en Venezuela (Ojeda et al., 2012).



---

#### 4.5. Ensayo *in situ*

Al comparar las degradaciones *in vitro* (Tabla 6) e *in situ* (Tabla 7) del presente estudio se observó que los valores de la prueba *in situ* son mayores, pudiendo deberse a alguno de los siguientes factores: a) la prueba *in vitro* es un sistema cerrado; b) los productos de fermentación del *in vitro* se vuelven tóxicos a los microorganismos usados como inóculo con el paso del tiempo de fermentación; c) el ensayo *in situ* es un sistema abierto que permite eliminar los productos de la fermentación del sustrato al ser absorbidos en rumen; d) hay menor manipulación de los microorganismos en la prueba *in situ*; y e) hay microorganismos que a la fecha no pueden cultivarse en laboratorio que están presentes durante la prueba *in situ*. Sin embargo, ambas técnicas se correlacionan; en el presente estudio la DMS ( $r = 0.67280$ ;  $p < 0.0001$ ) y DFDN ( $r = 0.63512$ ;  $p = 0.0002$ ) presentaron una correlación positiva. Sin embargo, una correlación de dichas variables por vaina, indicaron que la parota tuvo la misma tendencia que lo mencionado anteriormente; ya que la DMS presentó una correlación de 0.71408 ( $p = 0.0028$ ) y la DFDN fue de 0.69185 ( $p = 0.0043$ ). En contraste, la DPC de la vaina de algarrobo mostró un coeficiente de correlación positivo de 0.65722 ( $p = 0.0078$ ) y la DMS de 0.74435 ( $p = 0.0015$ ). Esto indica, que las diferencias se asumen a los factores ya señalados y a la misma técnica utilizada para las determinaciones, pero ambas se pueden usar para predecir el comportamiento al momento de ser consumido por el animal. Valores menores al presente estudio se reportaron en la DMS a las 24 (70.5%), 48 (78.7%) y 72 h (73.6%) en vainas de mezquite (*Prosopis spp*) colectadas en el municipio de Zapotlán El Grande, Jalisco, México (Montañez-Valdez et al., 2021); así como valores inferiores en la DMS a las 24 (72.3%), 48 (75.7%) y 72 h (76.4%) en vainas de espina de invierno (*Faidherbia albida*; Ahmed y El-Hag, 2004).

La cinética de la digestibilidad *in situ* permite conocer el comportamiento de los sustratos en su paso por rumen. De modo que la vaina de algarrobo presentó un potencial de digestibilidad de 75.98% de la MS, de la cual 89.7% es material soluble y el resto es material potencialmente digerible a una tasa de 8%; mientras, la vaina de parota mostró 76.86% de potencial de digestibilidad, del cual 7.7% se digiere a una tasa también de 8%. En el caso del nutriente FDN, el potencial de digestibilidad del algarrobo fue de 53.57%, donde 45.4% es el nutriente potencialmente digerible a una tasa de 9%; en contraste, la vaina de parota contiene 70.0% de FDN de potencial digerible a una tasa de 8%, situación similar a lo descrito en la prueba *in vitro*. En el caso de la PC, el potencial de digestibilidad es similar entre vainas, pero la vaina de algarrobo contiene mayor cantidad de PC soluble y la vaina de parota contiene mayor PC potencialmente digerible, aunque la tasa de digestión en ambas vainas es igual (Tabla 7). Valores inferiores en *a* (47.6%) y *b* (29.3%); así como similares en *c* (0.08) se reportaron en los estimadores de digestibilidad de vainas de espina de invierno respecto al presente estudio (Ahmed y El-Hag, 2004).

#### 4.6. Ensayo nematocida *in vitro*

La obtención de extractos metanólicos de las vainas de algarrobo y parota permitieron establecer si el contenido de sus metabolitos secundarios tenía efecto nematocida. En el caso de la vaina de algarrobo, una concentración de 10 o 20 mg mL<sup>-1</sup> de extracto mostraron el mayor efecto nematocida, ya que promediaron 62.1% de mortalidad de *H. contortus*, indicando que el contenido de los metabolitos secundarios con solubilidad en metanol representa una alternativa para posteriores estudios en el área de una sola salud en rumiantes. Efecto bactericida (*Staphylococcus aureus*) y antifúngico (*Candida albicans*) se reportaron de un extracto en hexano de vainas frescas de algarrobo a diferentes concentraciones con una concentración de 20 mg mL<sup>-1</sup> (Ukoha et al., 2011), concentración que presentó el mayor efecto nematocida en el presente estudio; así como un efecto antimicrobiano de un extracto metanólico de vaina de algarrobo en concentraciones de 2.5 a 8 mg mL<sup>-1</sup> (Hagan et al., 2019); concentraciones similares evaluadas en el presente estudio.

En el caso del extracto de la vaina de parota, aunque se observaron diferencias numéricas, el análisis estadístico indicó que no hay diferencias en la capacidad nematocida usando de 2.5 a 40 mg mL<sup>-1</sup> de extracto, por lo que no se presentó una relación entre la concentración y la mortalidad larvaria (Tabla ); estos resultados coinciden con López et al. (2015); quienes publicaron que su extracto hidroalcohólico de vainas de parota no presentó una relación directa entre la concentración y la mortalidad larvaria. Cabe destacar, el presente ensayo fue piloto, por lo que los valores encontrados no permitieron estimar concentraciones letales 50 o 90, y en el caso del extracto de la vaina de parota presentaron mucha variabilidad; pero, si presentan un antecedente de su posible uso como extractos con capacidad nematocida.

Se concluye que, el contenido de metabolitos secundarios y químicos; así como la degradación *in vitro* e *in situ* de nutrientes permite asumir que las vainas de algarrobo y parota representan una alternativa en la alimentación

---

de rumiantes para elaborar una planeación estratégica en los sistemas de producción bovina. Así mismo, pueden contribuir con la mitigación de los gases de efecto invernadero producidos de la fermentación ruminal (ensayo *in vitro*) y la obtención de extractos metanólicos para su uso como un antihelmíntico natural (ensayo *in vitro*).

### 5. Agradecimientos

Este estudio contó con el apoyo financiero del Cuerpo Académico UAGro-CA-183 Producción Sustentable de Rumiantes en el Trópico de México para el año 2022 con base en el "Dictamen del presupuesto planteado por los integrantes del cuerpo académico con número de acuerdo Proyecto 3/UAGro-CA-183/2022/Int". Así como el ensayo nematocida *in vitro* contó con el financiamiento parcial por el Proyecto de Recursos Fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias con el número 139335341.

### 6. Declaración de derechos de los animales

La vaca con fistula ruminal se manejó de acuerdo con el reglamento interno de bioética y bienestar animal de la Universidad Autónoma de Guerrero y el ovino con el reglamento interno de bioética y bienestar animal del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad; ambos con fundamento en las normas oficiales NOM-062-ZOO-1999.

### 7. Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

### 8. Referencias

- Abraham, G, Kechero, Y, Andualem, D, & Dingamo, T, 2022. Indigenous legume fodder trees and shrubs with emphasis on land use and agroecological zones: Identification, diversity, and distribution in semi-humid condition of southern Ethiopia, *Veterinary Medicine and Science*, 8(5), 2126–2137.
- Aguirre, LAM, O-León, OL, González-García, H, & Ledea-Rodríguez, J, 2021. Producción forrajera de especies arbóreas en ecosistemas frágiles, salinos y de alta sequía del Oriente Cubano, *Bosques Latitud Cero*, 11(1), 148-154.
- Ahmed, MMM, & El-Hag, FM, 2004. Degradation characteristics of some Sudanese forages and tree pods using in sacco and gas production techniques, *Small Ruminant Research*, 54(1), 147–156.
- Albore-Moreno, S, Alayón-Gamboa, JA, Ayala-Burgos, AJ, Solorio-Sánchez, FJ, Aguilar-Pérez, CF, Olivera-Castillo, L, & Ku-Vera, JC, 2017. Effects of feeding ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb on dry matter intake, rumen fermentation, and enteric methane production by Pelibuey sheep fed tropical grass, *Tropical Animal Health and Production*, 49(4), 857–866.
- Amankwah, NYA, Agbenorhevi, JK, & Rockson, MAD, 2022. Physicochemical and functional properties of wheat-rain tree (*Samanea saman*) pod composite flours, *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1317–1327.
- Amanzougarene, Z, & Fondevila, M, 2020. Fitting of the *in vitro* gas production technique to the study of high concentrate diets, *Animals*, 10(10), 1935.
- Andrade, HJ, Esquivel, H, & Ibrahim, M, 2008. Disponibilidad de forrajes en sistemas silvopastoriles con especies arbóreas nativas en el trópico seco de Costa Rica, *Zootecnia Tropical*, 26(3), 289–292.
- AOAC, 2005. Official methods of analysis (18a ed.). Association of Official Analytical Chemist.
- Armijo-Nájera, MC, Moreno, RA, Blanco, CE, Borroel-García, VJ, & Reyes-Carrillo, JL, 2019. Vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) alimento para el ganado caprino en el semidesierto, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 113–122.
- Barrientos-Ramírez, L, Vargas-Radillo, JJ, Segura-Nieto, M, Manríquez-González, R, & López-Dellamary Toral, FA, 2015. Nutritional evaluation of mature seeds of *Enterolobium cyclocarpum* (parota) from diverse ecological zones in western México, *Bosque (Valdivia)*, 36(1), 95–103.
- Bennett, EJ, Roberts, JA, & Wagstaff, C, 2011. The role of the pod in seed development: Strategies for manipulating yield, *New Phytologist*, 190(4), 838–853.
- Carbajal-Márquez, U, Sánchez-Santillán, P, Rojas-García, AR, Ayala-Monter, MA, Mendoza-Núñez, MA, & Hernández-Valenzuela, D, 2021. Effect of parota (*Enterolobium cyclocarpum*) pod protein supplement on feed intake and digestibility and calf ruminal characteristics, *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 323.
- Carbajal-Márquez, U, Sánchez-Santillán, P, Rojas-García, AR, Mendoza-Núñez, MA, Ayala-Monter, M, & Hernández-Valenzuela, D, 2019. Fermentación *in vitro* de complementos para becerros con niveles

- 
- crecientes de vaina de parota (*Enterolobium cyclocarpum*), Revista Mexicana de Agroecosistemas, 6(2), 213–220.
- Cardoso-Gutiérrez, E, Aranda-Aguirre, E, Robles-Jimenez, LE, Castelán-Ortega, OA, Chay-Canul, AJ, Foggi, G, Ángeles-Hernández, JC, Vargas-Bello-Pérez, E, & González-Ronquillo, M, 2021. Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: A systematic review, Veterinary and Animal Science, 14, 100214.
- Chan-Pérez, JI, Torres-Acosta, JFJ, Sandoval-Castro, CA, Castañeda-Ramírez, GS, Vilarem, G, Mathieu, C, & Hoste, H, 2017. Susceptibility of ten *Haemonchus contortus* isolates from different geographical origins towards acetone:water extracts of polyphenol-rich plants. Part 2: Infective L3 larvae, Veterinary Parasitology, 240, 11–16.
- da Silva, CZ, Ítavo, LCV, Ítavo, CCBF, dos Santos, GT, Dias, AM, dos Santos Difante, G, & Gurgel, ALC, 2021. Kinetics of *in vitro* gas production and fitting mathematical models of corn silage. Fermentation, 7(4), 298.
- Delgado, DC, Hera, R, Cairo, J, & Orta, Y, 2014. *Samanea saman*, árbol multipropósito con potencialidades como alimento alternativo para animales de interés productivo, Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 48(3), 205-212.
- Duarte-Vargas, JH, Melo, O, Mora-Delgado, J, Castañeda-Serrano, R, & Váquiro, H, 2021. Pod production, and dasometric variables, of the tree *Senna spectabilis* (Fabaceae) in a tropical dry forest. Revista de Biología Tropical, 69(1), 218–230.
- Dubeux, JCB, Muir, JP, Apolinário, VXO, Nair, PKR, Lira, MA, & Sollenberger, LE, 2017. Tree legumes: An underexploited resource in warm-climate silvopastures, Revista Brasileira de Zootecnia, 46, 689–703.
- Espinoza-Sánchez, J, Sánchez-Santillán, P, Torres-Salado, N, Ayala-Monter, MA, Herrera-Pérez, J, & Magadan-Olmedo, F, 2020. Inclusion of ripe mango as a source of energy in diets for creole lambs in the dry tropics, Tropical Animal Health and Production, 52(6), 3519–3526.
- González-Cortázar, M, Sánchez, JE, Huicochea-Medina, M, Hernández-Velázquez, VM, Mendoza-de-Gives, P, Zamilpa, A, López-Arellano, ME, Pineda-Alegría, JA, & Aguilar-Marcelino, L, 2021. *In vitro* and *in vivo* nematicide effect of extract fractions of *Pleurotus djamor* against *Haemonchus contortus*, Journal of Medicinal Food, 24(3), 310–318.
- Google Earth, 2023. [Software] (9.168.0.0).
- Gutierrez-Oviedo, FA, Pardo, JG, & Castañeda, RS, 2022. Digestibility, rumen kinetics, and blood metabolites in lambs fed *Samanea saman* and *Cordia dentata*, Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 20(1), 113-123.
- Hagan, MAS, Omojola, AB, & Donkoh, A, 2019. Assessment of *Samanea saman* whole pod extract as an antimicrobial agent and its effect on chicken patties, Journal of Agricultural Sciences, 14(2), 77-91.
- Hernández-Morales, J, Sánchez-Santillán, P, Torres-Salado, N, Herrera-Pérez, J, Rojas-García, AR, Reyes-Vázquez, I, & Mendoza-Núñez, MA, 2018. Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México, Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 9(1), 105-120.
- Herrera-Pérez, J, Carbajal-Márquez, U, Torres-Salado, N, Sánchez-Santillán, P, Ramírez-Reynoso, O, Rojas-García, AR, & Ayala-Monter, MA, 2021. Productive response of creole lambs fed integral diets with *Samanea saman* (Jacq.) Merr. Pods, Agroproductividad, 14(2), 29-34.
- Juárez, AS, Cerrillo, MA, La O, O, Herrera, RS, Scull, I, Guerrero, M, & Bernal, H, 2013. Valor nutricional y cinética de la fermentación ruminal de flores y frutos de árboles y arbustos de la cuenca del río Cauto, Cuba, Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 47(1), 37–43.
- Kishore, KR, Kumar, DS, & Rao, RE, 2017. Chemical composition and *in vitro* evaluation of rain tree (*Albizia saman*) pods as a livestock feed, International Journal of Science, Environment and Technology, 6(5), 3105–3109.
- Ku-Vera, JC, Jiménez-Ocampo, R, Valencia-Salazar, SS, Montoya-Flores, MD, Molina-Botero, IC, Arango, J, Gómez-Bravo, CA, Aguilar-Pérez, CF, & Solorio-Sánchez, FJ, 2020. Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants, Frontiers in Veterinary Science, 7, 584.
- Lavrenčić, A, Stefanon, B, & Susmel, P, 1997. An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components, Animal Science, 64(3), 423-431.
- López, JTLC, Garduño, RG, Torres, GH, Gutiérrez, SC, Gómez, VV, & Reyes, FM, 2015. Efecto antihelmíntico *in vitro* de extractos vegetales en nematodos gastrointestinales de ovinos de pelo, Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible, 4, 11–25.
-

- 
- Luna-Vega, D, García-Sahagún, ML, Rodríguez-Guzmán, E, Pimineta-Barrios, E, & Escalante-Martínez, R, 2017. Potencial alimenticio animal con harina frutos de parota (*Enterolobium cyclocarpum*, Jacq.) y capomo (*Brosimum alicastrum*, Sw), Revista de Simulación y Laboratorio, 14(10), 13–20.
- Makkar, HPS, 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds, Small Ruminant Research, 49(3), 241–256.
- McDonald, I, 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen, The Journal of Agricultural Science, 96(1), 251–252.
- Milián-Domínguez, JC, Iglesias-Monroy, O, Valdés-Márquez, H, & Sanjudo-Ramos, Y, 2017. Estudio fitoquímico integral del *Samanea saman* de la región occidental de Cuba, Revista Cubana de Química, 29(3), 480-491.
- Montañez-Palma, LF, Téllez-Téllez, ML, Acosta-Urdapilleta, M, Díaz-Godínez, G, & Aguilar-Marcelino, L, 2021. Nematicidal activity of a hydroalcoholic extract of the edible mushroom *Neolentinus ponderosus* on L3 larvae of *Haemonchus contortus*, Acta Parasitológica, 66(3), 969–976.
- Montañez-Valdez, OD, Reyes-Gutiérrez, JA, Coss, AL, Vicente-Pérez, R, Gómez-Vázquez, A, & Guerra-Medina, CE, 2021. Composición química y degradación ruminal de la vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) a diferente estado de madurez, Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8(2), 2857.
- Moreno, PM, Ramírez-Cando, L, & Cedeño, EL, 2021. Evaluación del efecto antagonico de una biopelícula con extractos de *Samanea saman* frente a *Colletotrichum gloeosporioides* responsable de la antracnosis en mango, Bionatura, 6(1), 1466–1472.
- Muro, AR, Arzola, C, Rodríguez, C, Corral, AL, Gutiérrez-Bañuelos, H, Herrera, ET, Gutiérrez, FJP, & Espinoza, AC, 2017. Cinética de degradación ruminal *in vitro* de dietas con manzanilla y rastrojo de maíz en ovinos, Acta universitaria, 27(2), 17–23.
- Oca, CAGM, de Ronquillo, MG, Salem, A, Bernal, JR, Pedraza, JF, & Flores, JGE, 2011. Chemical composition and *in vitro* gas production of some legumes browse species in subtropical areas of México, Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14(2), 589-595.
- Ojeda, A, Barroso, JA, Obispo, N, Gil, JL, & Cegarra, R, 2012. Composición química, producción de gas *in vitro* y astringencia en el follaje de *Samanea saman* (Jacq.) Merrill, Pastos y Forrajes, 35(2), 205-218.
- Olivares-Pérez, J, Avilés-Nova, F, Albarrán-Portillo, B, Rojas-Hernández, S, & Castellán-Ortega, OA, 2011. Identification uses and measurement of fodders legumes trees in south farmers of the state of México, Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14(2), 739-748.
- Olivares-Pérez, J, Rojas-Hernández, S, Camacho-Díaz, LM, Cipriano-Salazar, M, & Salem, AZM, 2019. Fruits chemical composition and potential ruminal digestion of nine tree species in dry tropic region of México, Agroforestry Systems, 93(2), 665–674.
- Ørskov, ER, & McDonald, I, 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage, The Journal of Agricultural Science, 92(2), 499-503.
- Peng, K, Gresham, GL, McAllister, TA, Xu, Z, Iwaasa, A, Schellenberg, M, Chaves, AV, & Wang, Y, 2020. Effects of inclusion of purple prairie clover (*Dalea purpurea* Vent.) with native cool-season grasses on *in vitro* fermentation and *in situ* digestibility of mixed forages. Journal of Animal Science and Biotechnology, 11(23), 1-14.
- Pérez-Gil, FR, Carranco-Jáuregui, ME, Calvo-Carrillo, MC, Solano, L, & Martínez-Iturbe, TJ, 2014. Caracterización química de panojas y vainas con semillas nativas del estado de Guerrero, México, para uso en la alimentación animal, Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 5(3), 307-319.
- Pineda-Alegría, JA, Sánchez-Vázquez, JE, González-Cortázar, M, Zamilpa, A, López-Arellano, ME, Cuevas-Padilla, EJ, Mendoza-de-Gives, P, & Aguilar-Marcelino, L, 2017. The edible mushroom *Pleurotus djamor* produces metabolites with lethal activity against the parasitic nematode *Haemonchus contortus*, Journal of Medicinal Food, 20(12), 1184–1192.
- Piñero-Vázquez, AT, Ayala-Burgos, AJ, Chay-Canul, AJ, & Ku-Vera, JC, 2013. Dry matter intake and digestibility of rations replacing concentrates with graded levels of *Enterolobium cyclocarpum* in pelibuey lambs, Tropical Animal Health and Production, 45(2), 577–583.
- Portela-Díaz, DF, Torres-Salado, N, Ayala-Monter, MA, Herrera-Pérez, J, & Sánchez-Santillán, P, 2022. Uso de vainas de fabáceas arbóreas tropicales en la mitigación de metano entérico. En GJM Palma, RJA Torres & VE Valdéz (eds.), Tecnologías agroforestales para la adaptación y mitigación al cambio climático. Opciones y perspectivas (Universidad de Colima; volumen 1), 153–163.
- Price, ML, Van Scoyoc, S, & Butler, LG, 1978. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 26(5), 1214–1218.
-

- 
- Réves-Leonard, FB, Calzadilla-Saldivar, E, Jiménez-Aguila, MM, Mercadet-Portillo, A, Sosa-López, A, & Rodríguez-Guerra, M, 2011. Potencialidades de *Samanea saman* y *Enterolobium cyclocarpum* en pastizales arbolados, *Revista Forestal Baracoa*, 30(1), 53-58.
- Rojas, ARG, Hernández, AA, Sánchez-Santillán, P, Alaniz, LG, Torres-Salado, N, Herrera, JP, & España, JE, 2018. Cinética de fermentación y degradación *in vitro* de tres leguminosas rastreras nativas del municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero, *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(4), 1229-1236.
- Rojas-García, AR, Orocio-Martínez, RK, Santillan, PS, Ayala-Monter, MA, Maldonado-Peralta, MA., & Valenzuela-Lagarda, JL, 2020. Características bromatológicas y fermentativas *in vitro* de complementos con *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb y cáscara de *Cucurbita argyrosperma* Huber. *Agroproductividad*, 13(7), 67-74.
- Rosales, AJJ, 2018. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (1860). En GJM Palma & IC González-Rebeles (eds), *Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable* (Universidad de Colima; 1a ed), 51–56.
- Rosero, NR, & Posada, SO, 2007. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 174-182.
- Sánchez-Santillán, P, Herrera-Pérez, J, Torres-Salado, N, Almaraz-Buendía, I, Reyes-Vázquez, I, Rojas-García, AR, Gómez-Trinidad, M, Contreras-Ramírez, EO, Maldonado-Peralta, MÁ, & Magadan-Olmedo, F, 2020. Chemical composition, and *in vitro* fermentation of ripe mango silage with molasses, *Agroforestry Systems*, 94(4), 1511-1519.
- Sánchez-Santillán, P, Meneses-Mayo, M, Miranda-Romero, L, Santellano-Estrada, E, & Alarcón-Zúñiga, B, 2015. Fribrinolytic activity and gas production by *Pleurotus ostreatus*-IE8 and *Fomes fomentarius*—EUM1 in bagasse cane, *Revista MVZ Córdoba*, 4907–4916.
- SAS Institute Inc, 2011. *Statistical Analysis System, SAS, User's Guide*. SAS Inst.
- Selim, ASM, Hasan, MN, Rahman, MA, Rahman, MM, Islam, MR, Bostami, ABMR, Islam, S, & Tedeschi, LO, 2022. Nutrient content and *in vitro* degradation study of some unconventional feed resources of Bangladesh, *Heliyon*, 8(5), e09496.
- Singleton, VL, & Rossi, JA, 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents, *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Stolaroff, JK, Keith, DW, & Lowry, GV, 2008. Carbon dioxide capture from atmospheric air using sodium hydroxide spray, *Environmental Science & Technology*, 42(8), 2728–2735.
- Torres, AJFJ, Chan, PI, López, AME, Rosado, AJA, Soberanes, CN, Nery, OS, Alonso, DA, Martínez, IF, Osorio, NJ, Vargas, MJJ, & Ensalada, ML, 2015. Diagnóstico de resistencia a los antiparasitarios en rumiantes. En RI Rodríguez-Vivas (ed), *Técnicas para el diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria* (AMPAVE-CONASA, México DF; 1a edición), 355–403.
- Torres-Salado, N, Sánchez-Santillán, P, Rojas-García, AR, Herrera-Pérez, J, & Hernández-Morales, J, 2018. Producción de gases efecto invernadero *in vitro* de leguminosas arbóreas del trópico seco mexicano, *Archivos de Zootecnia*, 67(257), 55-59.
- Ukoha, PO, Cemaluk, EAC, Nnamdi, OL, & Madus, EP, 2011. Tannins and other phytochemical of the *Samanea saman* pods and their antimicrobial activities, *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 5(8), 237–244.
- Van Soest, PJ, Robertson, JB, & Lewis, BA, 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition, *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Vázquez-Bravo, J, Aguilar-Marcelino, L, Castañeda-Ramírez, GS, Santos-Pérez, ID, Arroyo-Carmona, RE, Bernès, S, Hernández-Pareja, U, Gómez-Rodríguez, O, & Rosas-Saito, GH, 2020. *In vitro* nematocidal activity of two ferrocenyl chalcones against larvae of *Haemonchus contortus* (L3) and *Nacobbus aberrans* (J2), *Journal of Helminthology*, 94, e190.
- Velasco, MEZ, Perezgrovas, RAG, González, VAH, Hernández, AG, Figueroa, MS, & Martínez, JT, 2010. Etnobotánica, fenología y producción de vainas en árboles de *Cassia grandis* L. f. del centro de Chiapas, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 333–341.
- Vinyard, JR, & Faciola, AP, 2022. Unraveling the pros and cons of various *in vitro* methodologies for ruminant nutrition: A review, *Translational Animal Science*, 6(4), txac130.
-

---

## CAPÍTULO 3

### 3.1. PRIMER CURSO-TALLER A PRODUCTORES

#### 3.1.1. Resumen

El objetivo del taller fue enlazar al sector ganadero con el programa de posgrado de Maestría en Producción de Bovinos en el Trópico a través de un curso-taller de transferencia de tecnologías aplicadas, en alternativas de suplementación en bovinos con recursos alimenticios de la región Costa Chica del Estado de Guerrero como las vainas maduras de algarrobo (*Samanea saman*). El taller de elaboración de bloques nutricionales (BN) con vaina de algarrobo se realizó en la expo ganadera de Cuajinicuilapa, Guerrero; el día 11 de marzo de 2022, en coordinación con el Honorable Ayuntamiento Municipal, al cual asistieron alrededor de 20 productores. Durante el evento se explicó el beneficio de usar recursos regionales y la practicidad de los BN. Se realizó una práctica de la elaboración de los bloques. En conclusión impartir este tipo de curso-taller hacia productores, permite a los mismos informarse sobre los beneficios que tiene usar los recursos forrajeros de la región, tal es el caso del uso de vainas de algarrobo, de este modo, aprendiendo la elaboración de BN los cuales son una alternativa viable para el ganado, pudiendo los productores disminuir costos de producción, pero no solo eso, sino que también cubrir los requerimientos de su ganado y utilizar esta alternativa de suplementación principalmente en época de estiaje.

**Palabras clave:** Taller, bloque nutricional, leguminosas arbóreas, algarrobo.

#### 3.1.2. Introducción

La disminución de la productividad en los sistemas tropicales se asocia a la baja calidad nutricional de los pastos (Vázquez-Mendoza *et al.*, 2012) esto limita la actividad ruminal originando bajas tasas de ganancia de peso en rumiantes. Debido a la problemática que se enfrenta en los sistemas tropicales se buscan estrategias para aumentar la digestibilidad de forraje y producción animal, por lo anterior es

---

importante la suplementación en rumiantes con fuentes nitrogenadas (Rojo *et al.*, 2000).

El bloque nutricional (BN) es una alternativa de suplementación para rumiantes en forma sólida y compacta que suministra nutrientes y energía de manera lenta y con un consumo regulado, mejora el ecosistema ruminal ayudando a una mejor utilización de pasturas maduras y fibrosas. Las materias primas usadas son: melaza (provee energía, saborizante y solidificante), urea (nitrógeno no proteico), sales minerales, cal viva (fuente de calcio y da la consistencia solida), vainas de leguminosas arbóreas y pastas de oleaginosas (fuente de proteína) y subproductos como pajas, bagazos y rastrojos (sirve como soporte de otros ingredientes; Tobía *et al.*, 2003).


Las vainas de leguminosas arbóreas contienen hasta 30% de proteína cruda, calcio, fosforo, magnesio y cobre, fibra detergente neutro entre 18 y 62%, por lo tanto, representan una fuente importante de nutrientes durante el periodo de estiaje en el trópico, debido a la maduración de estas que es entre febrero y mayo, pudiéndose considerar la inclusión de estas vainas en suplementos o dietas para la alimentación de rumiantes (Hernández-Morales *et al.*, 2018).

### **3.1.3. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Enseñar a los productores alternativas de suplementación en bovinos con recursos forrajeros de la región Costa Chica del Estado de Guerrero como las vainas maduras de algarrobo (*Samanea saman*) a través de un curso-taller de transferencia de tecnologías aplicadas.

#### **Objetivos particulares**

-  Informar sobre las ventajas del uso que tienen las vainas maduras de algarrobo.

- 
- 🌱 Aprovechar los recursos forrajeros de la región elaborando BN de vainas maduras de algarrobo.
  - 🌱 Transferir a productores la metodología para la elaboración de los BN con vainas maduras de algarrobo.

#### **3.1.4. Desarrollo de las actividades efectuadas**

El taller de elaboración de bloques nutricionales con vainas de leguminosas arbóreas de la región Costa Chica del Estado de Guerrero para el ganado se realizó en la expo ganadera de la localidad de Cuajinicuilapa, Guerrero; el día 11 de marzo de 2022. La coordinación estuvo a cargo del H. Ayuntamiento Municipal, que preside el MVZ. Edgardo Miguel Paz Rojas y representando a la MPBT, la estudiante Brenda Karina Morales Campos.

Las actividades para el curso-taller se comenzaron dos días antes del evento con la molienda de la vaina de algarrobo, posteriormente con la elaboración de BN con la finalidad de llevarlos de muestra, esto con ayuda de estudiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Durante el evento la primera actividad que se realizó fue acomodar todos los insumos que se iban a necesitar para la realización del taller, posteriormente se entregaron trípticos a productores los cuales contenían toda la información de la metodología a desarrollar para la elaboración de los BN con vainas maduras de algarrobo (Figura 6).

Se prosiguió con la explicación de los beneficios que tiene usar recursos alimenticios de la región como las vainas de leguminosas arbóreas y la practicidad que tiene esta alternativa de suplementación al momento de proporcionar al ganado (Figura 7). Posteriormente, de manera práctica se explicaron los materiales necesarios y la metodología a seguir para la elaboración de los BN. Se comenzó con el pesaje de los insumos para elaborar 100 kg de BN: melaza 20 kg, urea 5 kg, mezcla mineral 3 kg, sal común 3 kg, vaina de algarrobo 18 kg, cal 10 kg, soya 10 kg, maíz 26 kg y pasto pangola 5 kg.



---

Posteriormente, se explicó que se comienza agregando los insumos sólidos: vaina de algarrobo, soya, maíz, mezcla mineral, sal común y el pasto pangola hasta incorporar perfectamente todos los insumos (Figura 8); posteriormente, se explicó que se debe deshacer los gránulos de urea con un poco de agua, ya que se disolvió, se debe agregar a la melaza y revolver hasta homogenizar. Esta mezcla de urea y melaza se vertió sobre los insumos sólidos y se revolvió hasta tener una mezcla homogénea de todos los insumos (Figura 9). Por último, se agregó la cal y se volvió a revolver la mezcla que ya se tenía hasta incorporar perfectamente este insumo (Figura 10) y se recaló a los productores que la cal es el último insumo que se agrega a la mezcla debido a la irritación que esta provoca.

El último paso, fue introducir la pasta en un molde previamente humedecido con agua; el cual, se llenó por completo y con un pisón y la participación de los productores se presionó. Posteriormente, en una superficie plana y limpia se desmoldo el BN; se comentó a los productores que se debe dejar secar el BN por 72 h al sol para que tome la consistencia sólida y para su conservación bañar con una lechada de cal y sal en relación 3:1.

Al concluir el taller se aclararon todas las dudas que surgieron de los productores (Figura 11). Los BN se repartieron con los asistentes como parte del curso-taller (Figura 12), y se atendió una entrevista sobre los beneficios que tienen los BN y el uso de leguminosas arbóreas en la nutrición animal (Figura 13).

### **3.1.5. Conclusión**

Impartir este tipo de curso-taller hacia productores, permite a los mismos informarse sobre los beneficios que tiene usar los recursos forrajeros de la región, tal es el caso del uso de vainas de algarrobo, de este modo, aprendiendo la elaboración de BN los cuales son una alternativa viable para el ganado, pudiendo los productores disminuir costos de producción, pero no solo eso, sino que también cubrir los

---

requerimientos de su ganado y utilizar esta alternativa de suplementación principalmente en época de estiaje.

### **3.1.6. Recomendaciones e implicaciones**

Es complicado, pero no imposible que los ganaderos usen recursos de la región, esto debido a la falta de asesoramiento en cuanto al valor nutricional y beneficios de estos recursos. Así mismo, la ausencia de asesoramiento de como incluirlos en suplementos o dietas. Se recomienda el constante contacto entre la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 y la Maestría en Producción de Bovinos en el Trópico con los pequeños y medianos productores; ya que necesitan asesoramiento en alternativas de alimentación, no obstante, también se debe prestar atención a la parte de sanidad, reproducción y genética para tener una ganadería rentable.

### **3.1.7. Literatura citada**

- Hernández-Morales, J., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Rojas-García, A. R., Reyes-Vázquez, I., y Mendoza-Núñez, M. A. (2018). Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), Art. 1. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>
- Rojo, R. R., Mendoza, D. G., García, B. C. M., Bárcena, G. J. R., y Aranda, I. E. M. (2000). Consumo y digestibilidad de pastos tropicales en toretes con suplementación nitrogenada y *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 17, 358–370.
- Tobía, C., Bustillos, A., Bravo, H., & Urdaneta, D. (2003). Evaluación de la dureza y el consumo de bloques nutricionales en ovinos. *Gaceta de Ciencias Veterinarias*, 9(1), 26–31.

---

Vázquez-Mendoza, P., Castelán-Ortega, O. A., García-Martínez, A., y Avilés-Nova, F. (2012). Uso de bloques nutricionales como complemento para ovinos en el trópico seco del altiplano central de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1), 87–96.

### 3.1.8. Evidencias



**Figura 5.** Elaboración de BN.



**Figura 6.** Entrega de trípticos.



**Figura 7.** Explicación de la importancia de usar recursos regionales.



**Figura 8.** Insumos solidos revolviéndose.



**Figura 9.** Urea y melaza incorporándose a los insumos sólidos.



**Figura 10.** Incorporación de cal a los insumos sólidos.



**Figura 11.** Aclaración de dudas.



**Figura 12.** Entrega de BN a productores como parte del curso-taller.



**Figura 13.** Entrevista sobre los beneficios que tienen los BN.

---

## 3.2. SEGUNDO CURSO-TALLER A PRODUCTORES

### 3.2.1. Resumen

El objetivo fue transferir las tecnologías de forma aplicada al sector ganadero por medio de un curso-taller sobre alternativas de alimentación para bovinos en el trópico enfocados en utilizar los recursos arbóreos de la región Costa Chica del Estado de Guerrero. El taller de alternativas de alimentación para bovinos del trópico se realizó en las instalaciones de la Asociación Ganadera Local de San Miguel Tlacamama, Oaxaca, el día 24 de junio de 2023, en coordinación con el presidente de dicha asociación el IAZ. Juvenal Santiago Castañeda y, como representante de la Maestría en Producción de Bovinos en el Trópico, la estudiante MVZ. Brenda Karina Morales Campos. La asistencia al taller fue de 11 personas. Se impartieron las pláticas: evaluación de sementales, elaboración de bloques nutricionales y elaboración de suplementos granulados, se entregaron trípticos con la información correspondiente a los temas impartidos, para finalizar con la parte práctica de elaboración de bloques nutricionales y suplementos granulados. En conclusión, impartir este tipo de curso-taller a productores permite la transferencia de conocimientos a la sociedad, los cuales van desde ayudar a la selección de futuros sementales, hasta la aplicación de estrategias de suplementación para el ganado; principalmente, en temporada de estiaje, permitiendo una ganadería rentable.

**Palabras clave:** Taller, bloques nutricionales, suplementos granulados, alternativas alimentación.

### 3.2.2. Introducción

En México, la ganadería es la actividad de mayor auge socioeconómico; ya que, además de proporcionar alimentos, proporciona materias primas, siendo la actividad más diseminada en el medio rural (Martínez-González et al., 2017). En regiones tropicales, la alimentación se basa en pastoreo, pero no se cubren los requerimientos nutricionales en las distintas etapas fisiológicas del animal. Por lo tanto se tiene baja productividad (Montenegro, 2021); todo esto, aunado a la baja

---

disponibilidad de recursos forrajeros principalmente en época de estiaje (Núñez-Torres y Rodríguez-Barros, 2019).

Una alternativa ante esta problemática, es el uso de vainas forrajeras arbóreas o arbustivas, residuos pos-cosecha de cultivos agrícolas y residuos de cultivos tropicales que presentan buen contenido de nutrientes para incorporarlos en dietas o suplementos para la alimentación de rumiantes (Núñez-Torres y Rodríguez-Barros, 2019).

### **3.2.3. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Transferir las tecnologías de forma aplicada al sector ganadero, por medio de un curso-taller sobre alternativas de alimentación para bovinos en el trópico; enfocándose en utilizar los recursos arbóreos de la región Costa Chica del Estado de Guerrero. Además, la importancia en la elección de un buen semental bovino por medio de su evaluación física.

#### **Objetivos particulares**

- 🌐 Dar a conocer los recursos arbóreos de la región para la elaboración de suplementos y su aprovechamiento mediante la elaboración de estrategias de alimentación.
- 🌐 Enseñar a productores a elaborar un suplemento granulado y bloques nutricionales como alternativas de alimentación para ganado bovino.
- 🌐 Explicar los principales aspectos a tomar en cuenta para la selección de un semental bovino.

### **3.2.4. Desarrollo de las actividades efectuadas**

El taller de alternativas de alimentación para bovinos del trópico se realizó en las instalaciones de la Asociación Ganadera Local de San Miguel Tlacamama, Oaxaca. La fecha fue el día 24 de junio de 2023. La coordinación del taller estuvo a cargo

del presidente de dicha asociación IAZ. Juvenal Santiago Castañeda y MVZ. Brenda Karina Morales Campos, estudiante de Maestría en Producción de Bovinos en el Trópico. La asistencia al taller fue de 11 personas (Tabla 9).

Antes de dar inicio con el evento se realizó el registro de los asistentes (Figura 14). Posteriormente, se inició con la plática evaluación de sementales. En ella se explicó a los productores las principales características fenotípicas y estructuras anatómicas a tomar en cuenta para la selección correcta de un semental. Así mismo, la necesidad de un examen andrológico con el fin de obtener un animal apto para la reproducción (Figura 15).

**Tabla 9.** Lista de asistencia de personas al curso-taller

No.	Nombre completo	Procedencia	Ocupación	Firma
1	Alejandro Galvanes Luján	Tlacamama	Campeño	[Firma]
2	Juvenal Santiago Castañeda	Tlacamama	Granadero	[Firma]
3	Jorge L. Galeana Rodríguez	Tlacamama	MVZ	[Firma]
3	Sandra A. Pérez Estévez	Puerto Pele	MVZ	[Firma]
4	Chay Mercedes Silva	Puerto Pele	IAZ	[Firma]
5	María Antonia Martínez Gil	San Mateo	EMVZ	[Firma]
6	Alfonso Ángel Villanueva Pérez	San Mateo	EMVZ	[Firma]
7	Dante Flores Kevin Abraham	El Encino	Sanador	[Firma]
8	Wendy Antonia Góngora Maco	Tehuacan	MVZ	[Firma]
9	Pedro Yael Sánchez Añes	Chalchicomula-Atlixco	EMVZ	[Firma]
10	Emmanuel Mendoza López	Tlacamama	EMVZ	[Firma]

---

Acto seguido, se realizaron las pláticas de alternativas de alimentación; para esto se desarrollaron los temas elaboración de bloques nutricionales y elaboración de suplementos granulados. En el primero, se explicó lo que es un bloque nutricional, la practicidad de esta alternativa de alimentación, las ventajas de utilizarlos y los insumos que se pueden utilizar para su elaboración como fuentes de energía (melaza, granos de maíz y sorgo), nitrógeno no proteico (urea), proteína (pasta de soya, pasta de ajonjolí, vainas de leguminosas arbóreas), minerales, sal común y cal, se repartieron trípticos a los productores con la información correspondiente de como elaborar bloques nutricionales (Figura 16).

Así mismo, se recalcó la importancia de utilizar un aglutinante como la cal para aportar la dureza a los bloques y con esto poder utilizar de 5 a 10% de inclusión de urea sin causar intoxicaciones a los rumiantes, y utilizar la sal común para limitar el consumo del bloque nutricional.

La última plática impartida fue la elaboración de suplementos granulados, en ella se comentó a los productores la importancia de la suplementación; los objetivos que tiene esta práctica en la alimentación de bovinos; y los tipos de suplementos que se pueden elaborar como proteicos, energéticos, energéticos-proteicos y minerales. Así mismo, se repartieron trípticos; los cuales contenían algunos ejemplos de suplementos (Figura 17).

Al terminar las pláticas, se continuó con la parte práctica. Para esto, se inició con la elaboración de suplementos granulados, donde se pesaron: melaza 5 kg, urea 0.75 kg, sal mineral 0.75 kg, vainas molidas de algarrobo 7.5 kg, pasta de soya 3.5 kg y maíz molido 7.5 kg para realizar un total de 20 kg de suplemento (Figura 18).

Se prosiguió a colocar todos los insumos sólidos en el suelo y se revolvieron para hacer una mezcla homogénea; enseguida, se explicó a los productores que la melaza tiene que diluirse con agua en relación 2:1 para obtener una consistencia menos espesa y poder incorporarla a los insumos solidos sin que se formen



---

gránulos de melaza por su densidad. Por lo que en una botella con orificios en la parte inferior se vertió la melaza para esparcirla sobre la mezcla y con palas se fue revolviendo hasta incorporar perfectamente la melaza y tener como resultado final una mezcla homogénea (Figura 19).

Después se enseñó a los productores como elaborar bloques nutricionales, se prepararon 25 kg de bloques (5 kg de melaza, 1.5 kg de urea, 0.75 kg de sal mineral, 0.75 kg de sal común, 7.5 kg de vaina de algarrobo molida, 3.5 kg de pasta de soya, 2.5 kg de cal y 3.5 kg de maíz molido; Figura 20). Los insumos se pesaron y se explicó a los productores que se empieza revolviendo los insumos sólidos (sal mineral, sal común, vaina de algarrobo molida, pasta de soya y maíz molido) a excepción de la cal y la urea. Enseguida, se mencionó que la urea se disuelve en la melaza y ya disuelta se incorpora a los insumos sólidos. Por último, se recalcó que la cal se agrega a lo último por su efecto irritante y se revuelve perfectamente todo hasta tener una mezcla homogénea (Figura 21).

Ya con la mezcla lista, se lubricaron los moldes con agua y se llenaron al tope, con un apisonador se presionó la mezcla para compactarla y se voltio para desamoldar los bloques, los cuales se repartieron con los productores (Figura 22).

### **3.2.5. Conclusión**

Impartir este tipo de curso-taller a productores permite la transferencia de conocimientos a la sociedad, los cuales van desde ayudar a la selección de futuros sementales, hasta la aplicación de estrategias de suplementación para el ganado; principalmente, en temporada de estiaje, permitiendo una ganadería rentable.

### **3.2.6. Recomendaciones e implicaciones**

Es necesario el continuo acercamiento con productores, ya que la mayoría de las veces la falta de asesoramiento provoca carencias y problemas en la unidad de producción, con estos acercamientos se busca atender las necesidades que se

---

puedan presentar por medio del asesoramiento tanto en la parte de nutrición, sanidad y reproducción.

### **3.2.7. Literatura citada**

Martínez-González, J. C., Castillo-Rodríguez, S. P., Villalobos-Cortés, A., & Hernández-Meléndez, J. (2017). Sistemas de producción con rumiantes en México. *Ciencia Agropecuaria*, 6, 132-152.

Montenegro, V. B. (2021). *Alternativas de alimentación de rumiantes en el trópico ecuatoriano*. Editorial Grupo Compás.

Núñez-Torres, O. P., & Rodríguez-Barros, M. A. (2019). Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(1), 24–37.

---

### 3.2.8. Evidencias



**Figura 14.** Registro de asistentes.



**Figura 15.** Plática de evaluación de sementales.



**Figura 16.** Plática elaboración de bloques nutricionales.



**Figura 17.** Plática elaboración de suplementos granulados.



**Figura 18.** Insumos para suplemento granulado.



**Figura 19.** Aplicación de melaza a suplemento granulado.



**Figura 20.** Pesaje de insumos para bloques nutricionales.



**Figura 21.** Revoltura de insumos solidos con melaza y cal.



**Figura 22.** Entrega de bloques nutricionales a productores.

---

### 3.3. PRIMER ESTANCIA PROFESIONAL

#### 3.3.1. Resumen

La estancia se realizó en el laboratorio del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Jiutepec, Morelos, México. La encargada del laboratorio y responsable directa de la estancia fue la Dra. Liliana Aguilar Marcelino. La Estancia Profesional duró dos meses, inició el 01 de julio y terminó el 01 de septiembre del año 2022. El objetivo fue analizar extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota por medio de pruebas *in vitro* contra nematodos (gastrointestinales y vida libre) y artrópodos (larvas de garrapatas), así como detectar con técnicas cualitativas los principales grupos de metabolitos secundarios. Dentro de las actividades se realizaron extractos metanólicos de leguminosas arbóreas algarrobo y parota, pruebas *in vitro* contra larvas L3 del nematodo *Haemonchus contortus*, pruebas *in vitro* de toxicidad contra el nematodo de vida libre *Panagrellus redivivus* (población mixta) y pruebas colorimétricas para la detección de grupos de metabolitos secundarios. En conclusión, los extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota pueden ser una alternativa sustentable y sostenible para su uso como desparasitante interno como externo ya que su estudio *in vitro* mostró resultados alentadores, contra larvas L3 de *H. contortus* y larvas de *R. microplus* sin afectar los microorganismos benéficos del suelo, así mismo solo se encontraron solamente tres grupos de metabolitos secundarios.

**Palabras clave:** Extractos, nematodos, metabolitos secundarios, pruebas *in vitro*.

#### 3.3.2. Introducción

En el territorio mexicano se estima que 60% de la superficie se aprovecha para desarrollar ganadería; específicamente la producción de rumiantes. Esta es una de las actividades más diseminadas en diferentes sistemas de producción (Martínez-González *et al.*, 2017). En las regiones tropicales, la producción del ganado

---

rumiante se obtiene principalmente a través del pastoreo (Lagunes-Rivera *et al.*, 2019).

Los rumiantes (bovinos) y los pequeños rumiantes (ovinos y caprinos) se exponen a contraer diferentes infecciones, ya sean bacterianas, virales o parasitarias. Las parasitarias pueden ser causadas por nematodos gastrointestinales, los cuales resultan ser importantes en la ganadería extensiva de climas tropicales y templados (Reyes-Guerrero *et al.*, 2021). La parasitosis en los animales disminuye la producción de carne, leche y lana; lo que se refleja en pérdidas económicas a los productores (Figuroa-Antonio *et al.*, 2018; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2001). Uno de los géneros más importantes de parásitos en bovinos y ovinos es *Haemonchus* spp. porque causa considerables pérdidas productivas (Munguía-Xóchihua *et al.*, 2018)

El control de los nematodos gastrointestinales (NGI) es mediante antihelmínticos (benzimidazoles, imidazotiazoles y lactonas macrocíclicas). Sin embargo, el uso inadecuado de estos productos propicia que los parásitos presenten resistencia a los antihelmínticos (Kotze y Prichard, 2016). En la actualidad una alternativa para el control de nematodiasis en rumiantes es el uso de metabolitos secundarios de plantas (Chan-Pérez *et al.*, 2017; Ortiz-Ocampo *et al.*, 2021).

### **3.3.3. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Analizar extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota por medio de pruebas *in vitro* contra nematodos (gastrointestinales y vida libre) y artrópodos (larvas de garrapatas), así como detectar con técnicas cualitativas los principales grupos de metabolitos secundarios.

#### **Objetivos particulares**

-  Elaborar extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota.

- 
- 🌐 Evaluar los extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota por medio de pruebas *in vitro* contra larvas L3 de *Haemonchus contortus* y larvas de *Panagrellus redivivus*.
  - 🌐 Evaluar los extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota contra larvas de garrapatas *Rhipicephalus microplus*.
  - 🌐 Detectar por medio de pruebas colorimétricas cualitativas grupos de metabolitos secundarios.

### 3.3.4. Desarrollo de las actividades efectuadas

Las actividades se realizaron en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Jiutepec, Morelos, México. La encargada del laboratorio fue la Dra. Liliana Aguilar Marcelino. La Estancia Profesional duró dos meses, inició el 01 de julio y terminó el 01 de septiembre del año 2022.

Las actividades que se desarrollaron fue la elaboración de extractos orgánicos de leguminosas arbóreas. Se utilizaron vainas maduras de *Samanea saman* y *Enterolobium cyclocarpum*. Estas se sometieron a maceración con metanol puro (Figura 23), el extracto líquido se obtuvo con un rotavapor (Figura 24); posteriormente, el extracto líquido se liofilizó en una liofilizadora (Figura 25).

En las pruebas *in vitro* se determinó el efecto antihelmíntico de los extractos orgánicos liofilizados de vainas maduras de algarrobo y parota (Figura 26). Se determinó si el extracto posee toxicidad contra larvas L3 de *H. contortus* (Figura 27) y nematodos de vida libre *P. redivivus* (Figura 28). En el caso de parásitos externos se montó un bioensayo contra larvas de *R. microplus* (Figura 29) para determinar las mismas variables que las evaluadas contra nematodos.

Para determinar los grupos de metabolitos de manera cualitativa presentes en los extractos se realizaron pruebas colorimétricas (Figura 30). Los resultados mostraron

---

que los extractos orgánicos contienen flavonoides, saponinas y alcaloides (Figura 31).

### **3.3.5. Conclusión**

Los extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota pueden ser una alternativa sustentable y sostenible para su uso como desparasitante interno como externo ya que su estudio *in vitro* mostró resultados alentadores, contra larvas L3 de *H. contortus* y larvas de *R. microplus* sin afectar los microorganismos benéficos del suelo, así mismo solo se encontraron solamente tres grupos de metabolitos secundarios.

### **3.3.6. Recomendaciones e implicaciones**

Se recomienda continuar el estudio y evaluación de extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota en ensayos *in vivo* para enriquecer el estudio y llevar esta alternativa sustentable al gremio ganadero.

### **3.3.7. Literatura citada**

Chan-Pérez, J. I., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Castañeda-Ramírez, G. S., Vilarem, G., Mathieu, C., & Hoste, H. (2017). Susceptibility of ten *Haemonchus contortus* isolates from different geographical origins towards acetone:water extracts of polyphenol-rich plants. Part 2: Infective L3 larvae. *Veterinary Parasitology*, 240, 11–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.04.023>

Figuroa-Antonio, A., Pineda-Rodríguez, S. A., Godínez-Jaime, F., Vargas-Álvarez, D., y Rodríguez-Bataz, E. (2018). Parásitos gastrointestinales de ganado bovino y caprino en Quechultenango, Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11(6), 97-104.

Kotze, A. C., and Prichard, R. K. (2016). Anthelmintic resistance in *Haemonchus contortus*: History, mechanisms and diagnosis. En: *Advances in parasitology*,

---

*Haemonchus Contortus* and Haemonchosis – Past, Present and Future Trends (pp.398-420). Academic Press.

Lagunes-Rivera, S. A., Guerrero-Rodríguez, J. D. D., Hernández-Vélez, J. O., Ramírez-González, J. de J. M., García-Bonilla, D. V., y Alatorre-Hernández, A. (2019). Rendimiento de materia seca y valor nutritivo de cuatro leguminosas herbáceas en la zona tropical de Hueytamalco, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 1042-1053. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4660>

Martínez-González, J. C., Castillo-Rodríguez, S. P., Villalobos-Cortés, A., y Hernández-Meléndez, J. (2017). Sistemas de producción con rumiantes en México. *Ciencia Agropecuaria*, 26, 132-152.

Munguía-Xóchihua, J., Navarro-Grave, R., Hernández-Chávez, J., MolinaBarrios, R., Cedillo-Cobián, J., & Granados-Reyna, J. (2018). Gastroenteric parasites and parasitic burdens of *Haemonchus contortus* in goat from the semiarid climate of the Bacum, Sonora, México. *Abanico Veterinario*, 8(3), 42–50. <https://doi.org/10.21929/abavet2018.83.2>

Ortíz-Ocampo, G. I., Sandoval-Castro, C. A., Mancilla-Montelongo, G., Castañeda-Ramírez, G. S., Chan, P. J. I., Capetillo, L. C., y Torres-Acosta, J. F. J. (2021). Variabilidad en el contenido de polifenoles, actividad biológica y antihelmíntica de extractos metanol:agua de las hojas de *Gymnopodium floribundum* Rolfe. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(4), 1168-1187. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i4.5894>

Rodríguez Vivas, R. I., Cob-Galera, L. A., y Domínguez-Alpizar, J. L. (2001). Frecuencia de parásitos gastrointestinales en animales domésticos diagnosticados en Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 12(1), 19-25. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v12i1.253>



### 3.3.8. Evidencias



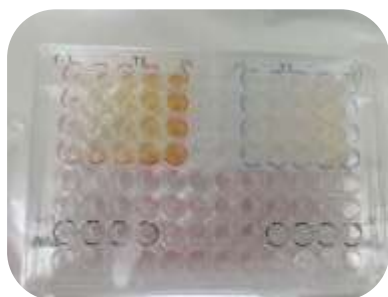
**Figura 23.** Maceración de las vainas con metanol puro.



**Figura 24.** Extracto en rotavapor.



**Figura 25.** Liofilización de extractos orgánicos de algarrobo y parota.



**Figura 26.** Pruebas *in vitro* con extractos orgánicos de vainas de algarrobo y parota.



**Figura 27.** Prueba *in vitro* con extractos orgánicos de vainas contra *H. contortus*.



**Figura 28.** Pruebas *in vitro* con extractos orgánicos de vainas contra *P. redivivus*.



**Figura 29.** Bioensayo con extracto de vainas contra larvas de *R. microplus*.



**Figura 30.** Pruebas colorimétricas a extractos orgánicos de vainas.



**Figura 31.** Extracto de vaina de algarrobo con presencia de flavonoides y alcaloides.

---

### 3.4. SEGUNDA ESTANCIA PROFESIONAL

#### 3.4.1. Resumen

La estancia se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal perteneciente al Cuerpo Académico UAGro-CA-183 “Producción Sustentable de Rumiantes en el Trópico” en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero en Cuajinicuilapa, Guerrero. El encargado del laboratorio y responsable directo de la estancia fue Dr. Paulino Sánchez Santillán. La Estancia Profesional inició el 9 de enero y terminó el 15 de febrero del año 2023. El objetivo fue instruir a jóvenes de la licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia sobre las técnicas de laboratorio comprendiendo el análisis bromatológico, la técnica de degradación *in vitro* y la técnica de digestibilidad *in situ* para la evaluación de alimentos destinados a la nutrición animal. Dentro de las actividades se enseñaron técnicas de laboratorio a estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia como determinación de materia seca, cenizas, proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, así como la técnica de degradación *in vitro* y la técnica de digestibilidad *in situ*. En conclusión, realizar la estancia me permitió transmitir los conocimientos adquiridos durante la maestría a jóvenes de licenciatura; los cuales mostraron gran interés, ya que son técnicas muy sencillas pero que aportan valiosa información en su carrera profesional. Así mismo, me permitió reforzar mis conocimientos en el laboratorio de nutrición animal.

**Palabras clave:** Técnicas laboratorio, bromatológico, *in vitro*, *in situ*.

#### 3.4.2. Introducción

Los alimentos están compuestos por agua y otros compuestos que constituyen la materia seca. La materia seca (MS) se conforma por componentes orgánicos (materia orgánica; MO) e inorgánicos (minerales). Esta composición química de los alimentos es importante aunado al consumo de materia seca y requerimientos nutricionales del ganado. Los análisis en laboratorio que se realizan a los alimentos son: materia seca, materia orgánica, digestibilidad de la materia seca (DMS),

---

digestibilidad de la fibra detergente neutro (DFDN), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA), extracto etéreo (EE) y cenizas (Ce; Guaita, 2014).

El principal problema que enfrenta la ganadería es la obtención de energía; ya que esta es considerada el principal nutriente limitante. Por tal razón, es importante la valoración energética de los alimentos consumidos por rumiantes. La estimación del valor energético de los alimentos se puede estimar mediante técnicas *in vitro* e *in situ*. La técnica de degradación *in vitro* simula la degradabilidad del alimento en el tracto digestivo del rumiante y se requiere de la preparación de un medio de cultivo que aporte las condiciones necesarias para que el inóculo que contiene microorganismos ruminales se mantengan viables (Torres *et al.*, 2009).


La digestibilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el tracto digestivo (Giraldo *et al.*, 2007). La técnica de digestibilidad *in situ* utiliza bolsas sintéticas para medir la digestión de alimentos a nivel ruminal, ya que se puede medir la digestibilidad aparente de la materia seca, fibra y nitrógeno y no requiere de equipos o materiales como otras técnicas (Torres *et al.*, 2009).

### **3.4.3. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Instruir a jóvenes de la licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia sobre las técnicas de laboratorio comprendiendo el análisis bromatológico, la técnica de degradación *in vitro* y la técnica de digestibilidad *in situ* para la evaluación de alimentos destinados a la nutrición animal.

#### **Objetivos particulares**

-  Enseñar a jóvenes que cursan la licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia, la parte práctica sobre el análisis bromatológico de alimentos destinados a la nutrición animal.

- 
- 🌐 Enseñar a jóvenes que cursan la licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia, la parte práctica sobre la técnica de degradación *in vitro* empleada para evaluar alimentos destinados a la nutrición animal.
  - 🌐 Enseñar a jóvenes que cursan la licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia, la practica sobre la técnica de digestibilidad *in situ* empleada para evaluar alimentos destinados a la nutrición animal.

#### **3.4.4. Desarrollo de las actividades efectuadas**

Las actividades se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal perteneciente al Cuerpo Académico UAGro-CA-183 “Producción Sustentable de Rumiantes en el Trópico” en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero en Cuajinicuilapa, Guerrero. El responsable directo de la estancia fue Dr. Paulino Sánchez Santillán. La Estancia Profesional inició el 9 de enero y terminó el 15 de febrero del 2023.

Las actividades que se desarrollaron durante la estancia fue la explicación teórica a los jóvenes sobre las técnicas que se emplean para realizar el análisis bromatológico (Figura 32); el cual, consta de MS, Ce, FDN, FDA y PC. De manera práctica se realizaron las técnicas para determinar el contenido de PC, FDN y FDA a muestras de leguminosas rastreras.

Para la técnica de PC, se enseñó a los jóvenes el protocolo a seguir, comenzando con el peso de la muestra ( $0.3 \pm 0.0010$  g; Figura 33). Posteriormente, se realizó la digestión de la muestra; donde se agregaron 3 mL de ácido sulfúrico; se dejó reposar por 24 h y se metieron a un digestor donde se subió la temperatura gradualmente hasta llegar a 350 °C por 2 h 30 min. Transcurrido el tiempo, se bajó la temperatura gradualmente hasta llegar a 50 °C (Figura 34). Una vez digeridas las muestras se destilaron. El tubo que contenía la muestra digerida se colocó en un destilador, se agregó hidróxido de sodio (50%); en un matraz que contenía 6 mL de ácido bórico se recolectó el nitrógeno destilado hasta completar 30 mL de una

---

solución azul. Por último, se tituló la muestra con ácido clorhídrico (0.1N), la cual cambió de coloración de azul a un rojo tenue (Figura 35).

Para realizar FDN, se comenzó colocando las bolsas ANKOM en la estufa durante 24 h a 50 °C; transcurrido el tiempo se obtuvo el peso seco de la bolsa; se agregaron  $0.5 \pm 0.0010$  g de muestra. Las bolsas se sellaron y enseguida se hirvieron en una solución de FDN durante 1 h 10 min. Al término se enjuagaron con agua corriente (cada lavada por 10 min) hasta obtener el agua que contenían las bolsas transparentes. Las bolsas se metieron a secar durante 24 h a 50 °C en una estufa, pasado el tiempo se obtuvo el peso de la bolsa. Posteriormente, se hirvieron las bolsas en una solución FDA durante 1 h 10 min. Al término se enjuagaron con agua corriente (cada lavada por 10 min) hasta obtener el agua que contenían las bolsas transparentes. Las bolsas se metieron a secar durante 24 h a 50 °C en una estufa, pasado el tiempo se obtuvo el peso de la bolsa (Figura 36).

Ya que se les enseñó a los jóvenes las técnicas de análisis bromatológicos, se prosiguió con los ensayos *in vitro* donde se comenzó por la teoría y enseguida se enseñó a preparar las soluciones que se necesitan para el medio de cultivo. Se explicó que debe contener solución mineral I, solución mineral II, solución buffer, solución reductora, resazurina, agua destilada y líquido ruminal (Figura 37). Se realizó una prueba de degradación *in vitro* donde se comenzó con el peso de la muestra ( $0.1 \pm 0.0010$  g) y se depositó en un tubo de ensaye, se agregó 8 mL de medio de cultivo bajo flujo de CO<sub>2</sub> y se llevó a una incubadora a 39 °C. Al término del tiempo de incubación, se filtró el contenido con ayuda de una bomba de vacío en papel Whatman, donde se recolectó el material residual (Figura 38).

También se realizó ensayos *in situ* donde se explicó el fundamento de la técnica y se prosiguió con la práctica. Para esto se enumeraron las bolsas que contenían la muestra y se metieron a secar durante 24 h a 50 °C. Las bolsas se pesaron y se agregaron  $5 \pm 0.0010$  g de muestra; la bolsa se selló con un cincho de plástico. La técnica inició colocando las bolsas en una cadena de hierro galvanizado y fueron

---

sujetadas con un cincho (Figura 39). Estas fueron introducidas en el rumen de una vaca fistulada la cual tenía una cánula ruminal (Figura 40). Al término de la incubación, las bolsas se metieron en agua con hielo donde se dejaron alrededor de 10 min y enseguida se realizó el enjuague de estas en unos recipientes con agua, ya que las bolsas se observaron sin partículas de alimento estas se trasladaron al laboratorio donde se retiraron de la cadena y se les quitó el cincho para posteriormente meterse a la estufa durante 24 a 72 h a 50 °C.

#### **3.4.5. Conclusiones**

Realizar la estancia me permitió transmitir los conocimientos adquiridos durante la maestría a jóvenes de licenciatura; los cuales mostraron gran interés, ya que son técnicas muy sencillas pero que aportan valiosa información en su carrera profesional. Así mismo, me permitió reforzar mis conocimientos en el laboratorio de nutrición animal.

#### **3.4.6. Recomendaciones e implicaciones**

Se recomienda continuar con la enseñanza a los jóvenes sobre las técnicas de análisis bromatológico, los ensayos *in vitro* e *in situ*; ya que, son fundamentales para conocer sobre el valor nutricional de los alimentos, tanto para rumiantes como para no rumiantes y de esta forma a los estudiantes resulte práctico y benéfico. Además, puedan poner en práctica cuando cursen las materias como forrajes y nutrición animal.

#### **3.4.7. Literatura citada**

Giraldo, L. A., Gutiérrez, L. A., y Rúa, C. (2007). Comparación de dos técnicas *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 269-279.

Guita, M. S. (2014). Algunas consideraciones acerca del análisis de alimentos para rumiantes. En INTA (Ed)., *Nutrición animal aplicada* (30-36). Balcarce.

---

Torres, G. G., Arbaiza, T. F., Carcelén, F. C., y Lucas, O. A. (2009). Comparación de las técnicas *in situ*, *in vitro* yenzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 20(1), 5-9.

---

### 3.4.8. Evidencias



**Figura 32.** Teoría a estudiantes sobre análisis bromatológicos.



**Figura 33.** Pesaje de muestra para realizar la técnica de PC.



**Figura 34.** Teoría y práctica sobre la digestión de la muestra para PC.



**Figura 35.** Práctica sobre la titulación de la muestra de PC.



**Figura 36.** Realización FDN y FDA a muestras de pastos.



**Figura 37.** Preparación de soluciones la técnica *in vitro*.



**Figura 38.** Técnica de degradación *in vitro*.



**Figura 39.** Colocación de bolsas en cadena.



**Figura 40.** Introducción de bolsas en rumen.



---

## 3.5. TERCERA ESTANCIA PROFESIONAL

### 3.5.1. Resumen

La estancia se realizó en el laboratorio de Microbiología Pecuaria de la Universidad Autónoma Chapingo. El encargado del laboratorio y responsable directo de la estancia fue Dr. Luis Alberto Miranda Romero. La Estancia Profesional duró un mes y 15 días, inició el 16 de febrero y concluyó el 31 de marzo del año 2023. El objetivo fue modificar la prueba de fermentación *in vitro* para su realización en campo, evaluando diferentes tamaños de viales y la actividad fermentativa de inóculo ruminal congelado a temperatura (0 a 4 °C) en un refrigerador convencional. Las actividades que se realizaron fue la evaluación *in vitro* de líquido ruminal a diferentes tiempos de congelación, se probaron diferentes tamaños de viales para obtener la ecuación de regresión, se modificó la preparación de la solución mineral reducida y se determinaron carbohidratos solubles en muestras de vainas de leguminosas arbóreas. En conclusión, es viable utilizar líquido ruminal preservado hasta 5 días mediante congelación en un refrigerador convencional sin que afecte la actividad microbiana; sin embargo, implementar la prueba de fermentación *in vitro* en campo es aún un desafío, debido a las condiciones de anaerobiosis que se deben de mantener para la buena actividad microbiana.

**Palabras clave:** Fermentación, *in vitro*, líquido ruminal, viales.

### 3.5.2. Introducción

La técnica de producción de gas es actualmente muy usada para la evaluación de la fermentación ruminal *in vitro* de alimentos para rumiantes (Rodríguez *et al.*, 2017). Esta técnica requiere de inóculo ruminal proveniente de un donador animal, comúnmente canulado en rumen, por rumenocentesis o a través de sonda esofágica (Noro *et al.*, 2013), lo cual dificulta su aplicación como una técnica de análisis rápido en campo (Cuervo y Correa, 2012).

---

Diversas investigaciones se han enfocado al estudio de métodos de preservación del fluido ruminal como: deshidratación, liofilización y congelación (Texta *et al.*, 2019). La preservación tiene como principal objetivo mantener la actividad fermentativa lo más parecido a la del fluido ruminal fresco (Arcos *et al.*, 2004). La importancia de implementar la técnica de fermentación *in vitro* en campo es con el fin de ofrecer una técnica rápida sin la necesidad de requerir un laboratorio para su realización, además de no necesitar equipos especializados.

### 3.5.3. Objetivos

#### Objetivo general

Modificar la prueba de fermentación *in vitro* para su realización en campo, evaluando diferentes tamaños de viales y la actividad fermentativa de inóculo ruminal congelado a temperatura (0 a 4 °C) en un refrigerador convencional.

#### Objetivos particulares

- 🌐 Evaluar *in vitro* el líquido ruminal congelado a diferentes tiempos (5, 10 y 15 días) en un refrigerador convencional (4 °C).
- 🌐 Evaluar *in vitro* la solución mineral modificada del medio de cultivo.
- 🌐 Estandarizar las ecuaciones de presión para los viales de 30, 60 y 120 mL.

### 3.5.4. Desarrollo de las actividades efectuadas

Las actividades se realizaron en el laboratorio de Microbiología Pecuaria de la Universidad Autónoma Chapingo. El encargado del laboratorio y responsable directo de la estancia fue el Dr. Luis Alberto Miranda Romero. La Estancia Profesional duró un mes y medio, inició el 16 de febrero y terminó el 31 de marzo del año 2023.

Las actividades fueron las siguientes: obtención de líquido ruminal para su preservación, para esto se utilizó un bovino fistulado con cánula ruminal perteneciente a la granja experimental del Colegio de Postgraduados. Cada 5 días se obtuvo líquido ruminal (2 L) (Figura 41), esto con el fin de tener tres tiempos de

---

preservación, cabe resaltar que el líquido ruminal no se filtró y fue congelado en un refrigerador convencional a una temperatura de 4 °C en el laboratorio de Microbiología pecuaria.

Se realizaron pruebas de presión en viales de 30, 60 y 120 mL, para esto se les agregó 20, 45 y 90 mL de agua y posteriormente se les inyectó los siguientes volúmenes de aire 0, 1.25, 2.5, 3.75, 5 y 6.25; 0, 2.5, 5, 7.5, 10 y 12.5; 0, 5, 10, 15, 20 y 25 respectivamente. La presión se midió con un manómetro modificado (Figura 42). Esto se realizó para obtener la ecuación de regresión correspondiente a cada vial y poder correlacionar los viales de 30 y 60 mL con el vial de 120 mL con el fin de poder utilizar un vial de menor capacidad al de 120 mL y de esta forma hacer práctico el manejo de los viales en campo.

Se montó una prueba de fermentación *in vitro* para evaluar el líquido ruminal congelado y también se utilizó inóculo seco (RumenphorteMR); los cuales fueron comparados con líquido ruminal fresco, esta prueba también se utilizó para observar si se podía acortar el tiempo de medición de biogás, para esto se utilizaron los tres tamaños de viales 30, 60 y 120 mL y tres sustratos de referencia maíz, alfalfa y una dieta integral para vacas de ordeño. En los viales se agregaron 20, 45 y 90 mL del medio de cultivo y 0.5, 0.25 y 0.125 g de un tipo de muestra, y 0.05, 0.025 y 0.020 g de inóculo seco respectivamente para cada vial. Se metieron tres repeticiones y tres blancos para cada tratamiento.

Para el medio de cultivo (1 L): solución mineral I (68 mL), solución mineral II (68 mL), carbonato (45 mL), solución reductora (18 mL), agua (701 mL) y líquido ruminal (congelado y fresco) (100 mL). El líquido ruminal congelado se descongeló en un baño maría, donde se fue subiendo gradualmente la temperatura y se filtró con tres capas de manta de cielo, los viales fueron llenados con el volumen correspondiente de medio de cultivo bajo flujo continuo de CO<sub>2</sub>. Posteriormente, los viales se metieron a un baño maría a una temperatura de 39 °C. Los tiempos de medición fueron para el vial de 120 mL: 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 66 y 72 h,

---

para el vial de 60 mL: 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30 y 36 h y para el vial de 30 mL: 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7.5, 9, 10.5, 12, 15 y 18 h, para medir la producción de biogás se utilizó un manómetro (Figura 43).

A los viales de 120 mL, cumplidas las 24 h se tomó 4 mL de medio de cultivo con ayuda de una jeringa y se depositó en un tubo Eppendorf que contenía 1 mL de ácido metafosfórico a 20% (Figura 44); pasado las 72 h de incubación, se realizó el filtrado de los viales con ayuda de una bomba de vacío, depositando el contenido en papel Whatman (Figura 45) el papel que contenía la muestra se metió a una estufa a 45 °C durante 48 h.

Para montar la prueba *in vitro* en campo (este primer ensayo se realizó en el laboratorio de Microbiología Pecuaria) se utilizaron los resultados de las pruebas anteriores. Así, se usó un vial de 30 mL; el inóculo fueron: fluido ruminal congelado de 5 d y fluido ruminal seco. Los tiempos de medición fueron: 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 66 y 72 h. Para esto se preparó una semana antes el material a utilizar (deshidratador, molino para café, coladera, báscula, charolas para pesaje, viales 30 mL, jeringa 50 mL y 10 mL, espátulas, solución salina, soluciones para el medio de cultivo, manómetro y baño maría) (Figura 46). Los sustratos que se utilizaron se obtuvieron de unos ovinos alojados en la granja de la Universidad Autónoma Chapingo. Las muestras fueron alimento ofrecido, alimento rechazado y heces (Figura 47) y se utilizó la dieta para vacas de ordeño que fue el sustrato de referencia utilizado con anterioridad.

Los sustratos que se obtuvieron de los ovinos fueron secados en un deshidratador durante 16 h y molidos en un molino para café. Un día antes se preparó el medio de cultivo, para esto se usó un suero salino (500 mL, con el fin de aprovechar el recipiente donde viene); se retiró la solución salina, los mL correspondientes a las demás soluciones que contiene el medio de cultivo y se le inyectó solución mineral I (34 mL), solución mineral II sin cloruro de sodio (34 mL) y carbonato (22.5 mL).

---

Se pesaron 0.125 g de un tipo de muestra y a unos viales se les agregó 0.020 g de inóculo seco (RumenphorteMR) y la muestra correspondiente. Los viales se sellaron con un tapón de goma y un arillo de aluminio; con una jeringa se extrajo el aire que pudo haber quedado dentro al momento de sellarlos. El día de la prueba se consiguió líquido ruminal fresco, y en un baño maría se metió a descongelar el líquido ruminal (5 d) que con anterioridad se había preservado. Ya descongelado el líquido ruminal se filtró con tres capas de manta de cielo. Al suero que contenía las demás soluciones se le inyectó la solución reductora caliente; a los viales de 30 mL se les inyectó 19 mL de solución mineral reducida y 1 mL de líquido ruminal fresco y congelado (5 d).

Los viales se metieron a baño maría durante 72 h a 39 °C (Figura 48). Las mediciones se realizaron con un manómetro. Así mismo, dentro de las actividades se determinaron carbohidratos solubles a las muestras de vainas maduras de algarrobo y parota (Figura 49), para esto en un mortero se depositó 0.040 g y se le agregó 5 gotas de etanol al 80% y 1 mL de agua destilada, esto se macero y se filtró con una bomba de vacío, el sobrenadante se pasó a un matraz volumétrico (25 mL) (esto se repitió tres veces), el sobrenadante se aforó con etanol al 80%.

Se tomó un 1 mL del extracto y se le agregó 1 mL de fenol al 5% y 4 mL de ácido sulfúrico, se esperó a que los tubos se enfriaran y se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro (absorbancia a 490 nanómetros). Para poder calcular los miligramos de carbohidratos solubles en alcohol por gramo de materia seca, se utilizó una ecuación de regresión lineal para esto se realizó una curva utilizando una solución de glucosa.

### **3.5.5. Conclusión**

Es viable utilizar líquido ruminal preservado hasta 5 días mediante congelación en un refrigerador convencional sin que afecte la actividad microbiana; sin embargo, implementar la prueba de fermentación *in vitro* en campo es aún un desafío, debido

---

a las condiciones de anaerobiosis que se deben de mantener para la buena actividad microbiana.

### **3.5.6. Recomendaciones e implicaciones**

Se recomienda modificar la preparación de la solución mineral reducida para conseguir la anaerobiosis que se necesita para la buena actividad microbiana, de igual forma cuidar la forma de inoculación de los viales para evitar la lisis de los microorganismos.

### **3.5.7. Literatura citada**

- Arcos, M. L., Ossa, F., y Díaz, T. F. (2004). Criopreservación de aislados nativos de la bacteria ruminal *Fibrobacter succinogenes*. *Carpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 60-63.
- Cuervo, A. W. y Correa, L. H. (2012). Comportamiento de la actividad enzimática de gamma glutamil transferasa en líquido ruminal bovino sometido a métodos térmicos, físicos y químicos. *Revista Spei Domus*, 8(17), 14-21.
- Noro, M., Sepúlveda, P., Cárdenas, F., Chihuailaf, R. H., y Wittwer, F. (2013). Rumenocentesis dorsomedial: un procedimiento seguro para la obtención de líquido ruminal en vacas lecheras a pastoreo. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 45, 25-31.
- Rodríguez, R., Galindo, J. L., Iraola, J and Gómez S. (2017). Use of the gas production technique to predict the relation between the intake level and indicators of *in vitro* ruminal fermentation. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(3), 301-310.
- Texta, N. J., Sánchez, S. P., Hernández, S. D., Torres, S. N., Crosby, G. M., Rojas, G. R., Herrera, P. J., y Maldonado, P. M. (2019). Uso de disacáridos y carbón activado para preservar consorcios de bacterias ruminales celulolíticas liofilizadas. *Revista MVZ Córdoba*, 24(3), 7305-7313.

### 3.5.8. Evidencias



**Figura 41.** Obtención de líquido ruminal.



**Figura 42.** Medición de la presión de los viales.



**Figura 43.** Prueba de fermentación *in vitro* viales 120, 60 y 30 mL.



**Figura 44.** Medio de cultivo en ácido metafosfórico.



**Figura 45.** Filtrado de la muestra.



**Figura 46.** Material para prueba *in vitro* en campo.



**Figura 47.** Obtención de muestras de heces de ovinos.



**Figura 48.** Montaje de la prueba de fermentación *in vitro* para campo.



**Figura 49.** Determinación de carbohidratos solubles.